



Profil Vertikal Suhu Laut Banda Terkait Kejadian El Niño di Pasifik Timur dan Pasifik Tengah

Budi Prasetyo¹, Nikita Pusparini¹, dan Ivonne M. Radjawanne²

¹Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, ² Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

Email: bo3di.kecil@gmail.com

Submitted 28 November 2017. Reviewed 21 September 2018. Accepted 1 February 2019.

DOI: 10.14203/oldi.2019.v4i1.171

Abstrak

Tipe El Niño di Pasifik Timur (*Eastern-Pacific*; EP) dan di Pasifik Tengah (*Central-Pacific*; CP) memiliki karakter yang berbeda dalam berbagai aspek seperti mekanisme, evolusi, dan dampak yang dihasilkan terhadap Suhu Permukaan Laut (SPL), curah hujan dan parameter lainnya. Perbedaan karakter tersebut berpengaruh terhadap perairan di wilayah lain termasuk Laut Banda, tidak hanya pada suhu lapisan permukaan laut tetapi juga pada lapisan dalam. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui respon profil suhu kolom air di Laut Banda terhadap kedua tipe El Niño tersebut. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu laut vertikal yang diunduh dari *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) v.2.2.4 dalam rentang waktu kajian Januari 1950 hingga Desember 2010 (60 tahun), *Oceanic Nino Indeks* (ONI), dan lapisan homogen (MLD) dari SODA3. Hasil kajian menunjukkan EP El Niño mendinginkan suhu perairan Laut Banda hingga -1.5°C , sedangkan akibat CP El Niño menurunkan suhu hingga -0.9°C . Pendinginan maksimum akibat kedua tipe El Niño tersebut terjadi pada kedalaman lapisan termoklin 90 s.d. 140 m. Lebih jauh lagi, penurunan maksimum saat EP El Niño terjadi pada kedalaman 90–120 m, sedangkan pada kejadian CP El Niño pada kedalaman 140–160 m di Laut Banda Barat dan 160–200 m di Laut Banda Timur. Respon suhu laut dekat permukaan lebih cepat terhadap CP El Niño sedangkan suhu lapisan dalam lebih merespon terhadap EP El Niño. Kondisi suhu lapisan dalam Laut Banda saat kedua tipe El Niño berlangsung menunjukkan pendinginan meskipun El Niño sudah memasuki fase punah. Sementara suhu laut lapisan dekat permukaan sudah menghangat ketika El Niño tipe CP punah.

Kata kunci: EP El Niño, CP El Niño, suhu laut, profil vertikal

Abstract

Vertical Profile of Banda Sea Temperature Related to El Niño Events in the East Pacific and Central Pacific. Eastern Pacific (EP) and Central Pacific El Niño have different characteristics such as mechanism, evolution, impact to Sea Surface Temperature (SST), and rainfall. The character of two types of El Niño affect the temperature of the sea, on the near-surface as well as in deeper layer, in other regions including Banda Sea. This study is aimed to understand the response of Banda Sea vertical sea temperature profile to both El Niño types using sea temperature data from Simple Ocean Data Assimilation (SODA) v.2.2.4 from January 1950 until December 2010 (60 years), Oceanic Nino Index (ONI), and mixed layer depth (MLD) from SODA3. Eastern Pacific El Niño and CP El Niño cooled Banda Sea about -1.5°C and 0.9°C , respectively. The maximum cooling due to both El Niño occurred in the thermocline layer (at the depth of 90 to 120m). The maximum temperature decrease during EP El Niño occurred at the depth of 90 to

120 m, while during CP El Niño the maximum temperature decrease was at 140 to 160 m and 160 to 200m in western and eastern Banda Sea, respectively. The temperature of the near-surface layer responded rapidly to CP El Niño while in the deep layer the temperature responded more to EP El Niño. The Banda deep sea layer was cooling after both types of El Niño extinct while the temperature of near-surface layer was increasing when CP El Niño extinct.

Keywords: EP El Niño, CP El Niño, sea temperature, vertical profile

Pendahuluan

Fenomena El Niño merupakan interaksi antara laut dan atmosfer yang terjadi di Samudera Pasifik tropis yang ditandai dengan Suhu Permukaan Laut (SPL) di wilayah Pasifik Timur yang lebih hangat daripada di Pasifik Barat. Istilah ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) seringkali digunakan karena El Niño berkaitan erat dengan osilasi selatan (*Southern Oscillation*) (Mc Phaden et al. 2006).

Kajian terkini menyatakan bahwa terdapat dua tipe El Niño yaitu El Niño di Pasifik Timur (*Eastern Pacific/EP*) dan El Niño di Pasifik Tengah (*Central Pacific/CP*) (Larkin & Horisson 2005; Ashok et al. 2007; Kao & Yu 2009; Kug et al. 2009). Kedua tipe El Niño tersebut berbeda satu sama lain baik secara spasial maupun temporal, antara lain dilihat dari cara penentuan (indeks), mekanisme, dan juga pengaruh terhadap cuaca dan iklim (Kao & Yu 2009; Di Lorenzo et al. 2010; Yu et al. 2012). Beberapa parameter oseanografi yang berubah terhadap kedua tipe El Niño tersebut antara lain profil horizontal dan vertikal suhu laut, arus zonal, dan beberapa parameter oseanografi lainnya (Larkin & Harrison 2005; Ashok et al. 2007; Kao & Yu 2009; Kug et al. 2009; Takahashi et al. 2011).

Dampak El Niño terhadap perubahan kondisi suhu kolom air juga dirasakan di perairan Laut Banda (Sukresno & Sugimori 2007; Iskandar 2010; Prasetyo et al. 2016). Perairan ini merupakan satu-satunya laut yang semi tertutup di wilayah ekuator (Sulaiman 2000). Selain itu, perairan ini juga dipengaruhi oleh Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) (Wyrтки 1961). ARLINDO merupakan arus yang terjadi akibat perbedaan Tinggi Muka Laut (TML) dan menimbulkan perpindahan massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia (Wyrтки 1987; Gordon 2005; Gordon et al. 2008; Sprintall 2014). Arus ini berperan penting dalam siklus transfer panas meridional dan sistem iklim (Meyer 1996). ARLINDO masuk ke Laut Banda melalui Laut Flores, Selat Lifamatola, dan Laut Halmahera (Gordon et al. 2008).

Hasil penelitian Gordon dan Susanto (2001), Sukreno dan Sugimori (2007), Iskandar

(2010), dan Prasetyo et al. (2016) menunjukkan bahwa kondisi SPL di Laut Banda berkurang saat terjadi El Niño. Selain itu, suhu pada kedalaman lapisan termoklin juga mengalami penurunan saat terjadi El Niño, terdapat perbedaan jeda waktu antara lapisan permukaan dengan lapisan termoklin (Prasetyo et al. 2016). Penelitian-penelitian tersebut membahas dampak dari El Niño di Pasifik Timur terhadap Laut Banda. Untuk itu, penelitian ini mengkaji tentang perubahan profil suhu laut vertikal di Laut Banda terkait dengan kedua tipe El Niño tersebut.

Metodologi

Penelitian ini difokuskan di wilayah Laut Banda dan sekitarnya dengan koordinat 3.0 °LS–8.0 °LS dan 123 °BT – 133 °BT (Gambar 1).

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data suhu laut vertikal bulanan yang berasal dari data *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) V2.2.4 mulai dari Januari 1950–Desember 2010 (60 tahun). Data ini memiliki kedalaman 40 lapisan vertikal dengan resolusi 0.5°x0.5°. Pada penelitian ini hanya dipakai 19 lapisan vertikal yaitu hingga kedalaman 465 m karena fluktuasi suhu laut vertikal umumnya terjadi pada lapisan atas. SODA 2.2.4 dikeluarkan tahun 2010 dan tersedia secara online berbentuk data rata-rata bulanan. Data SODA telah digunakan sebelumnya dalam mengkaji dinamika Laut Indonesia, khususnya Laut Banda (Corvianawatie et al. 2014; Prasetyo et al. 2016; Pusparini et al. 2017).

SODA merupakan hasil pengembangan dari Departemen Sains Atmosfer dan Laut Universitas Maryland dan Departemen Oseanografi Universitas A&M Texas yang bertujuan untuk menggambarkan karakter fisis lautan, terdiri dari variabel kondisi lautan global serta beberapa bidang turunan. SODA menggunakan data angin permukaan harian berupa *European Centre for Medium Range Forecast* (ECMWF) *Atmospheric ReAnalysis* (ERA-40) periode 1958-2001 (44 tahun), Fluks air permukaan dari gabungan satelit pengukuran bulanan *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) periode 1979–2008 digabungkan dengan

data penguapan yang diperoleh dari rumus yang digunakan untuk menghitung panas laten, dan klimatologi salinitas permukaan laut dari *World Ocean Atlas* (WOA 2001).

Asimilasi data menggunakan perbedaan antara data pengamatan dan model prakiraan untuk mengoreksi hasil yang terakhir. Asimilasi data dibangun berdasarkan model sirkulasi lautan umum menggunakan program paralel lautan (POP) dengan resolusi horizontal $0.25^\circ \times 0.4^\circ$ dan 40 tingkat vertikal dengan jarak 10 m dekat permukaan. Algoritma asimilasi data berdasarkan analisis sekuensial dengan siklus pembaruan 10 hari (Carton & Giese 2005; 2008).

Data *Oceanic Niño Index* (ONI) digunakan untuk menentukan waktu kejadian El Niño. ONI merupakan anomali SPL wilayah Niño 3.4 ($190^\circ\text{--}240^\circ\text{BT}$ dan $5^\circ\text{LU}\text{--}5^\circ\text{LS}$) dari hasil rata-rata 30 tahunan dan diperbaharui setiap 5 tahun. Sebelum dirata-ratakan selama 30 tahun, data SPL Niño 3.4 dirata-ratakan tiga bulan berjalan (*three month running mean*) (2015). Kejadian El Niño diidentifikasi dengan nilai anomali SPL $\geq 0.5^\circ\text{C}$ selama lebih dari lima bulan berturut-turut. Indeks Niño dapat diunduh secara gratis di website *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Data lapisan homogen (*Mixed Layer Depth/MLD*) bulanan berasal dari SODA versi 3. SODA 3 memiliki resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (28 km di ekuator dan menurun <10 km ke lintang kutub) dan 50 tingkatan vertikal dengan rentang periode Januari 1980-Desember 2015 (37 tahun). Penelitian ini hanya menggunakan data dari Januari 1980-Desember 2010 (30 tahun). Sejumlah perbaikan telah dilakukan dalam asimilasi penyaringan data. Perbandingan antara model SODA 3 telah mengurangi kesalahan sistematis ke tingkat yang sebanding dengan analisis statistik objektif di lapisan air dekat permukaan (Carton et al. 2018).

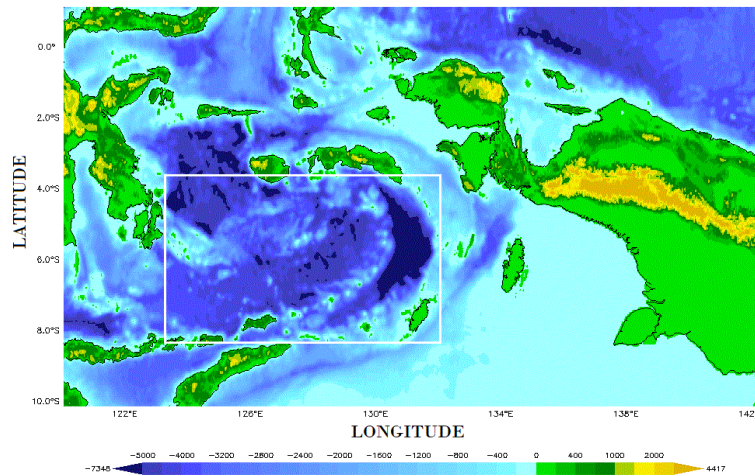
Pengolahan data dimulai dengan menyaring data dengan menggunakan metode rata-rata berjalan (*running mean*) tiga bulanan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang

bersifat antar tahunan karena pada umumnya fenomena ENSO berfluktuasi antar tahunan (Mc Phaden 2006). Metode ini digunakan oleh NOAA dalam penentuan kejadian El Niño (CPC 2015). Langkah selanjutnya adalah melihat profil vertikal suhu laut rata-rata tahunan periode Januari 1950–Desember 2010 di Laut Banda. Metode statistik sederhana yang digunakan berupa rata-rata dan standar deviasi perkedalaman hingga kedalaman 465 m. Perhitungan anomali suhu laut dan kedalaman termoklin digunakan untuk menganalisis pengurangan atau penambahan yang terjadi saat EP maupun CP El Niño. Nilai anomali diperoleh dengan mengurangi nilai deret waktu (*time series*) suatu parameter tertentu terhadap kondisi rata-ratanya.

Rata-rata kedalaman Laut Banda pada koordinat $124^\circ\text{--}131^\circ\text{BT}$; $4.5^\circ\text{--}7^\circ\text{LS}$ digambarkan menggunakan diagram Hovmoller (kedalaman-waktu). Selain itu, penampang melintang rata-rata suhu laut pada lintang $4.5^\circ\text{--}7^\circ\text{LS}$ di Laut Banda juga digambarkan menggunakan diagram Hovmoller dengan profil kedalaman-bujur (*depth-longitude*).

Penentuan tipe kejadian El Niño menggunakan tiga buah indeks yaitu indeks Yu et al. (2011), Kao & Yu (2009) dan indeks El Niño Modoki (EMI) (Ashok et al. 2009). Dari ketiga indeks tersebut dapat disimpulkan tipe El Niño yang terjadi di tahun tersebut. Trenbeth dan Stepaniak (2001) menyatakan bahwa satu indeks tidak mampu menangkap beragam variasi SPL akibat El Niño. Waktu kejadian El Niño disesuaikan dengan indeks ONI. Metode ini telah digunakan oleh Yu et al. (2012) dan Prasetyo et al. (2016).

Lapisan termoklin Laut Banda pada kajian ini diidentifikasi sebagai lapisan isotherm 21°C (Bray et al. 1996; Gordon et al. 2000). Lebih lanjut, Bray et al. (1996) menjelaskan bahwa lapisan termoklin wilayah Indonesia lebih dangkal yaitu pada lapisan 10–20 m, daripada kedalaman lapisan termoklin di Samudera Pasifik dan Hindia yang diidentifikasi dengan isotherm 20°C .



Gambar 1. Peta topografi Laut Banda dan sekitarnya, kotak putih merupakan wilayah penelitian (sumber data: model relief global ETOPO).

Figure 1. Topography map of Banda Sea and its surrounding, white box is research area (data source: ETOPO global relief model).

Tabel 1 Tipe El Niño (sumber: Yu et al. 2012; Prasetyo et al. 2016)

Table 1. El Niño type (source: Yu et al. 2012; Prasetyo et al. 2016)

No	ONI	Duration	Yu et al., (2011)	Kao & Yu (2009)	EMI	Konsensus
1	Jul 1951-Dec 1952	18 month	EP/CP	EP	EP	EP
2	Jan 1953-Jan 1954	13 month	CP	CP	EP	CP
3	Apr 1957-Jun 1958	15 month	EP/CP	CP	CP	CP
4	Oct 1958-Feb 1959	5 month	CP	CP	CP	CP
5	Jul 1963-Feb 1964	8 month	CP	CP	CP	CP
6	Jun 1965-Apr 1966	10 month	EP/CP	CP	CP	CP
7	Nov 1968-Jun 1969	8 month	CP	CP	CP	CP
8	Aug 1969-Jan 1970	5 month	CP	CP	EP	CP
9	May 1972-Mar 1973	11 bulan	EP/CP	EP	EP	EP
10	Sep 1976-Feb 1977	6 month	EP	EP	EP	EP
11	Sep 1977-Feb 1978	6 month	CP	CP	CP	CP
12	May 1982-Jun 1983	14 month	EP/CP	EP	EP	EP
13	Sep 1986-Feb 1988	16 month	EP/CP	CP	EP	CP
14	Jun 1991-Jul 1992	13 month	EP/CP	CP	CP	CP
15	Oct 1994-Mar 1995	6 month	EP/CP	CP	CP	CP
16	May 1997-May 1998	13 month	EP	EP	EP	EP
17	Jun 2002-Feb 2003	7 month	CP	CP	CP	CP
18	Jul 2004-Apr 2005	10 month	CP	CP	CP	CP
19	Sep 2006-Jan 2007	5 month	CP	EP	EP	CP
20	Jul 2009-Apr 2010	10 month	CP	CP	CP	CP
Color information			Red = Very Strong El Niño Orange = Strong El Niño Green = Moderate El Niño Blue = Weak El Niño			

Hasil

Profil vertikal suhu laut rata-rata tahunan selama periode 1950–2010 di perairan Laut Banda menurun terhadap kedalaman. Suhu laut tertinggi berada dekat dengan permukaan yaitu 28°C dan semakin menurun hingga lapisan dalam (458 m) (Gambar 2a).

Kedalaman MLD (*Mixed layer depth*) Laut Banda rata-rata pada periode 1950–2010 berkisar antara 25–40 m. Wilayah Laut Banda Tengah merupakan wilayah MLD terdalam dengan kedalaman 37–40 m. Sementara, MLD ter dangkal umumnya berada di Laut Banda bagian Utara dengan kedalaman 30–35 m (Gambar 2c).

Kedalaman lapisan termoklin Laut Banda rata-rata pada periode 1950–2010 berkisar antara 110–140 m. Kedalaman lapisan termoklin Laut Banda utara merupakan yang terdalam. Kedalaman termoklin semakin mendangkal ke wilayah Laut Banda Selatan (Gambar 2c). Sebagai perbandingan, hasil tersebut sesuai dengan Februarianto (2013) yang menyatakan bahwa kedalaman lapisan termoklin di Basin Banda Utara berada pada posisi dalam.

Profil standar deviasi suhu laut menunjukkan bahwa nilai standar deviasi Laut Banda berkisar antara 0.4 s.d. 1.8. Variabilitas tertinggi yang ditunjukkan dengan nilai standar deviasi tertinggi terjadi pada kedalaman 100 s.d. 140 m (Gambar 3a). Hal ini menunjukkan bahwa lapisan termoklin di Laut Banda merupakan lapisan dengan variabilitas tertinggi.

Berdasarkan pembagian zona, terdapat dua kutub dengan nilai standar deviasi cukup signifikan yaitu wilayah Laut Banda Barat dan Timur (Gambar 3b). Nilai standar deviasi terbesar terjadi di kutub Laut Banda Timur berkisar antara 1.5 - 1.8 yang terjadi pada kedalaman 80–120 m. Sementara kutub kedua terjadi di Laut Banda

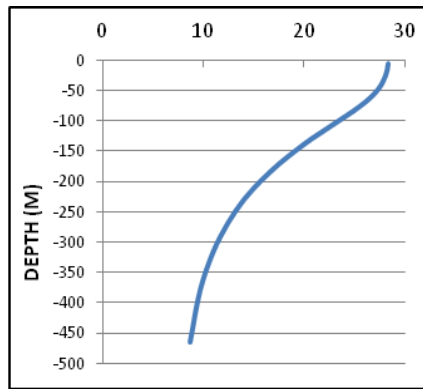
Barat dengan nilai lebih rendah yaitu 1.4 s.d 1.6 pada kedalaman 140 s.d. 180 m.

Berdasarkan pembagian tipe El Niño pada rentang tahun kajian Januari 1950 hingga Desember 2010, diperoleh 20 kejadian El Niño. Ada dua kejadian El Niño yang sangat kuat, yaitu lima kejadian El Niño kuat, empat kejadian El Niño sedang, dan sembilan kejadian El Niño lemah. Sebanyak lima kejadian EP El Niño dan 15 kejadian CP El Niño telah terjadi selama periode 60 tahun (Tabel 1).

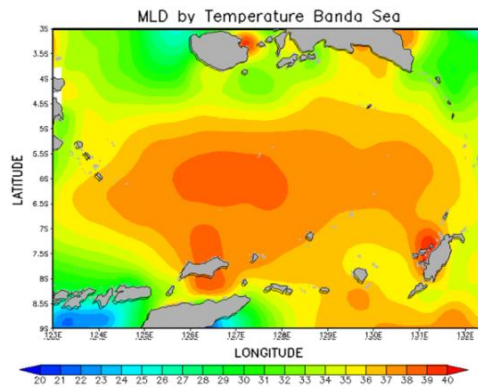
Hasil rata-rata khusus pada seluruh kejadian EP dan CP El Niño menunjukkan bahwa penurunan suhu laut perairan Laut Banda akibat EP El Niño lebih besar daripada akibat CP El Niño. Penurunan maksimum suhu laut akibat EP El Niño mencapai -1.5°C di kedalaman 90–120 m (Gambar 4a). Sedangkan penurunan maksimum akibat CP El Niño mencapai -0.9°C kedalaman 140–200 m di Laut Banda (Gambar 4b).

Penurunan suhu akibat EP El Niño menunjukkan adanya dua kutub yang berada di antara Laut Banda Barat dan Laut Banda Timur. Profil suhu di Laut Banda Timur menunjukkan penurunan yang lebih tinggi (Gambar 4a). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh CP El Niño bahwa adanya dua kutub penurunan maksimum di antara Laut Banda Barat dan Laut Banda Timur (Gambar 4b). Akan tetapi, perbedaan tersebut terjadi pada kedalaman yang berbeda. Pola yang dihasilkan akibat EP dan CP El Niño mirip seperti pola hasil standar deviasinya (Gambar 3b).

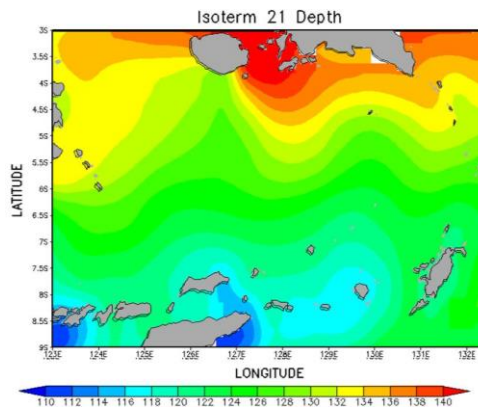
Lapisan termoklin Laut Banda juga mengalami pendangkalan selama EP dan CP El Niño. Lapisan termoklin umumnya mendangkal 5–20 m saat El Niño. Pendangkalan akibat EP El Niño lebih besar dibandingkan CP El Niño. Pendangkalan saat EP El Niño mencapai 20 m (Gambar 4c) sedangkan pendangkalan saat CP El Niño yaitu 10–15 m (Gambar 4d). Semakin kuat El Niño maka pendangkalan lapisan termoklin juga semakin besar (Gumbira 2015).



a



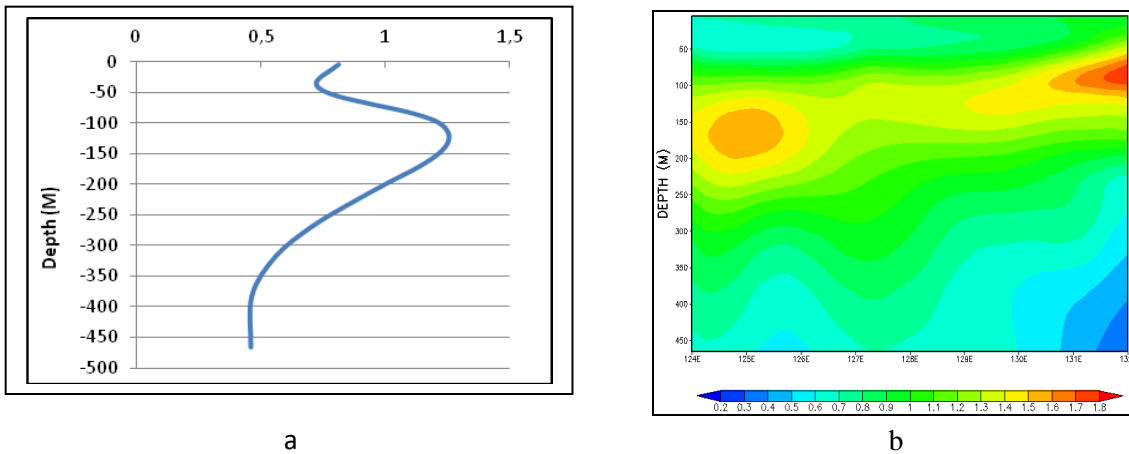
b



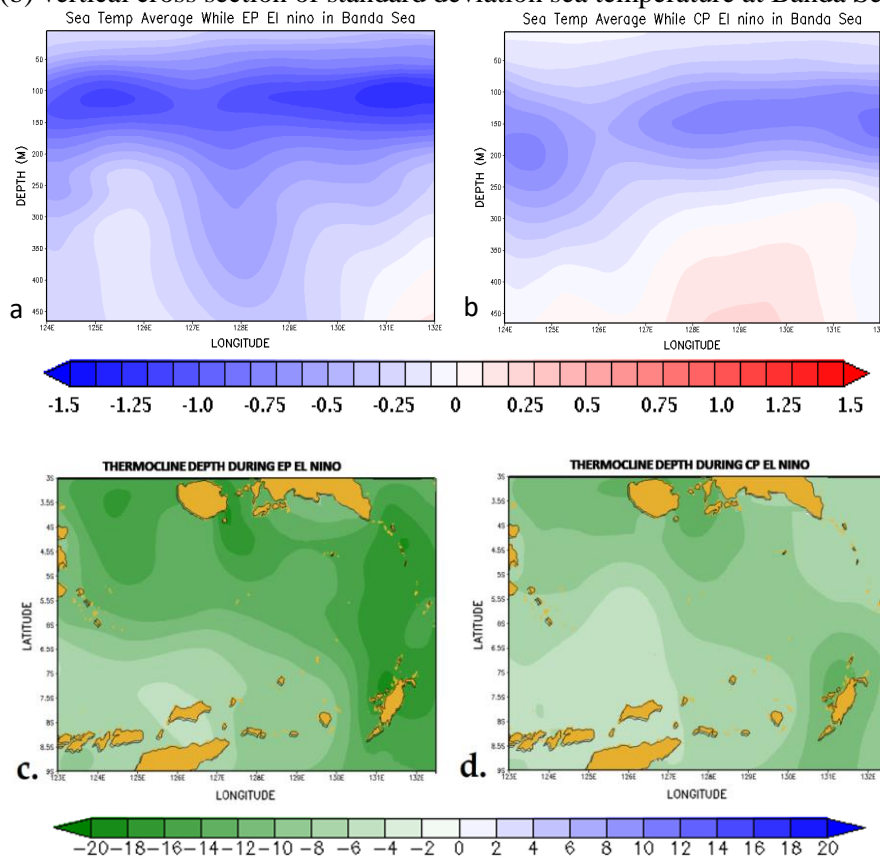
c

Gambar 2. Profil vertikal suhu laut rata-rata selama periode 1950-2010 (a) di Laut Banda, (b). Kedalaman MLD, (c) kedalaman isotherm 21. Satuan suhu laut dalam derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$), satuan kedalaman MLD dan isotherm 21 dalam meter (sumber: hasil perhitungan).

Figure 2. Sea temperature vertical profile average for period 1950 - 2010 (a) Banda Sea, (b) MLD Depth (c) isotherm 21 depth. Sea temperature unit in Celcius ($^{\circ}\text{C}$), MLD and isotherm depth unit in meter (source: based on calculation).



Gambar 3. Profil vertikal standar deviasi suhu laut rata-rata selama periode 1950 – 2010 (a) di Laut Banda, (b) penampang vertikal standar deviasi suhu laut di Laut Banda.
 Figure 3. Standard deviation vertical profile of Sea temperature average for periods 1950-2010 (a) Banda sea, (b) vertical cross section of standard deviation sea temperature at Banda Sea.



Gambar 4. Penampang melintang anomali suhu laut Laut Banda saat (a) EP El Niño, (b) CP El Niño, (c) anomali kedalaman termoklin saat EP El Niño dan, (d) saat CP El Niño. Satuan suhu laut dalam derajat Celcius, satuan kedalaman termoklin dalam meter.

Figure 4. Cross section of sea temperature anomaly at Banda Sea during (a) EP El Niño, (b) CP El Niño, (c) thermocline depth anomaly at Banda Sea during EP El Niño, and, (d) during CP El Niño. Sea temperature unit in Celcius, thermocline depth unit in meters.

Pembahasan

Penurunan suhu (pendinginan) kolom air di Laut Banda umumnya terjadi saat kedua tipe El Niño tersebut berlangsung. Pada umumnya, penurunan suhu laut akibat EP dan CP El Niño

berada pada kedalaman 100 s.d. 200m. Kedalaman tersebut diperkirakan merupakan lapisan tempat masuknya massa air dingin yang diduga dibawa oleh ARLINDO. Arus ini membawa massa air ke Laut Banda pada lapisan di atas 300m (Gordon et al. 1994). Hal ini sesuai

dengan Wirtky (1961) yang menyatakan bahwa massa air laut yang mengalir disumbangkan oleh lapisan bawah melalui proses *upwelling* ke permukaan pada musim timur, mengganti massa air laut yang berasal dari lapisan bawah permukaan yaitu pada kedalaman 150–200 m.

Penurunan suhu laut akibat kedua tipe El Niño secara umum berada pada kedalaman lapisan termoklin. Pada saat yang bersamaan juga, lapisan termoklin mengalami pendangkalan pada saat El Niño. Pendangkalan lapisan termoklin diduga terkait dengan pendangkalan lapisan massa air dingin yang mungkin juga terkait dengan SPL yang lebih dingin. Pendangkalan termoklin dan pendinginan SPL berkaitan dengan kejadian *upwelling*. Gordon dan Susanto (2001) menyatakan bahwa kekuatan *upwelling* cenderung berkurang selama periode El Niño berlangsung. Pelemahan kekuatan *upwelling* ini terjadi bersamaan dengan pendinginan SPL saat El Niño berlangsung.

Kasus EP El Niño pada tahun 1997/98 dan CP El Niño 1963/64 dapat lebih menjelaskan respon kedua tipe El Niño terhadap profil suhu Laut Banda. Pemilihan tahun kejadian El Niño tersebut berdasarkan *magnitude* terkuat dari masing-masing tipe El Niño (Gambar 5). Selain itu, pemilihan kedua tahun tersebut juga berdasarkan kejadian El Niño yang menggambarkan masing-masing tipe El Niño dengan jelas. Menurut Yu et al. (2011), dalam beberapa kasus terjadi gabungan kedua tipe El Niño tersebut selama durasi waktu sesuai indeks ONI, misalnya El Niño pada tahun 1982/83 terlihat CP El Niño lemah dan EP El Niño kuat terjadi di Pasifik Tropis, sehingga bukan hanya satu peristiwa pemanasan yang berlangsung.

Magnitude EP El Niño umumnya cenderung lebih kuat dibandingkan CP El Niño yang berdampak pada penurunan suhu yang dihasilkan. Pada Gambar 4a dan 4b juga menunjukkan bahwa besarnya *magnitude* akan dapat berpengaruh terhadap penurunan suhu laut yang terjadi di Laut Banda. Akan tetapi diharapkan dari studi kasus ini, dapat dijelaskan respon serta dampak evolusi EP dan CP El Niño terhadap perairan Laut Banda.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan Diagram Hovmoller suhu laut (Gambar 6a), penurunan suhu laut (pendinginan) Laut Banda (ditandai dengan anomali negatif) pada saat EP El Niño 1997/98 sudah terjadi sejak bulan Januari 1997 pada kedalaman 200 m, padahal El Niño baru mulai terjadi pada bulan Mei 1997. Selain itu, pendinginan tersebut juga berlangsung lebih lama bahkan ketika El Niño sudah memasuki fase punah (Gambar 6b).

Hal berbeda ditunjukkan kondisi suhu laut dekat permukaan. Pendinginan baru terjadi pada bulan April 1997. Pendinginan tersebut juga tergolong singkat, karena suhu laut sudah kembali hangat pada bulan Desember 1997 padahal El Niño masih belum punah (Gambar 6a). Pengaruh dari dinamika atmosfer diduga memainkan peran dalam hal ini. Pengaruh monsoon sangat dominan terhadap SPL di Laut Banda. Periode hangat SPL Laut Banda terjadi saat Monsoon Barat dari Bulan November hingga April (Gordon & Susanto 2001; Sukresna & Sugimory 2007; Kida & Richard 2009; Iskandar 2010). Hal tersebut dapat menyebabkan suhu laut dekat permukaan sudah langsung menghangat meskipun El Niño masih berlangsung.

Ketika CP El Niño 1963/64, suhu pada lapisan 100–200 m mendingin pada bulan Agustus 1963 dan mencapai puncaknya pada bulan Desember 1963, bersesuaian dengan puncak CP El Niño 1963/64. Sementara, suhu laut dekat permukaan sudah mendingin pada bulan April 1963 (Gambar 6c). Terdapat perbedaan waktu berkisar ± 4 bulan saat suhu laut lapisan dekat permukaan mendingin lebih dahulu dibandingkan lapisan dalam. Akan tetapi, pendinginan di lapisan dalam masih terus terjadi setelah CP El Niño 1963/64 memasuki fase punah pada bulan Februari 1964 (Gambar 6d), sementara lapisan dekat permukaan sudah menghangat kembali pada bulan Januari 1964. Hal ini dapat disebabkan Laut Banda sudah memasuki periode hangat saat bulan November hingga April akibat Monsoon Barat (Gordon & Susanto 2001; Sukresna & Sugimory 2007; Kida & Richard 2009, Iskandar 2010). Pada saat yang bersamaan *magnitude* El Niño juga mulai berkurang.

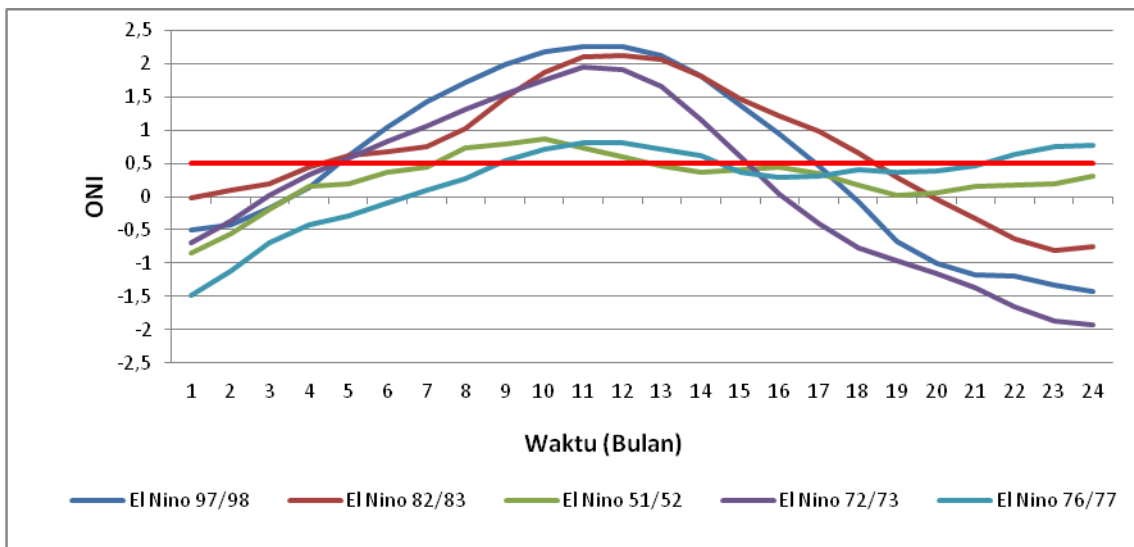
Awal mula pendinginan suhu laut pada lapisan dalam di Laut Banda saat kedua tipe El Niño tersebut terjadi pada kedalaman ± 200 –250 m. Kedalaman tersebut semakin berkurang/mendangkal saat mendekati fase puncak El Niño. Hal ini juga terjadi seiring dengan terjadinya pendangkalan lapisan termoklin. Akan tetapi, terdapat perbedaan kedalaman pendinginan signifikan antara keduanya ketika mencapai puncak El Niño. Kedalaman pendinginan signifikan saat CP El Niño terjadi pada kedalaman 150–200 m sedangkan saat EP El Niño terjadi pada kedalaman 120–160 m. Hal ini sesuai dengan hasil rata-rata kondisi profil suhu laut vertikal Laut Banda saat terjadi EP dan CP El Niño (Gambar 4a dan b).

Penjelasan di atas, memperkuat dugaan bahwa terdapat perbedaan respon antara EP dan CP El Niño terhadap profil suhu vertikal Laut

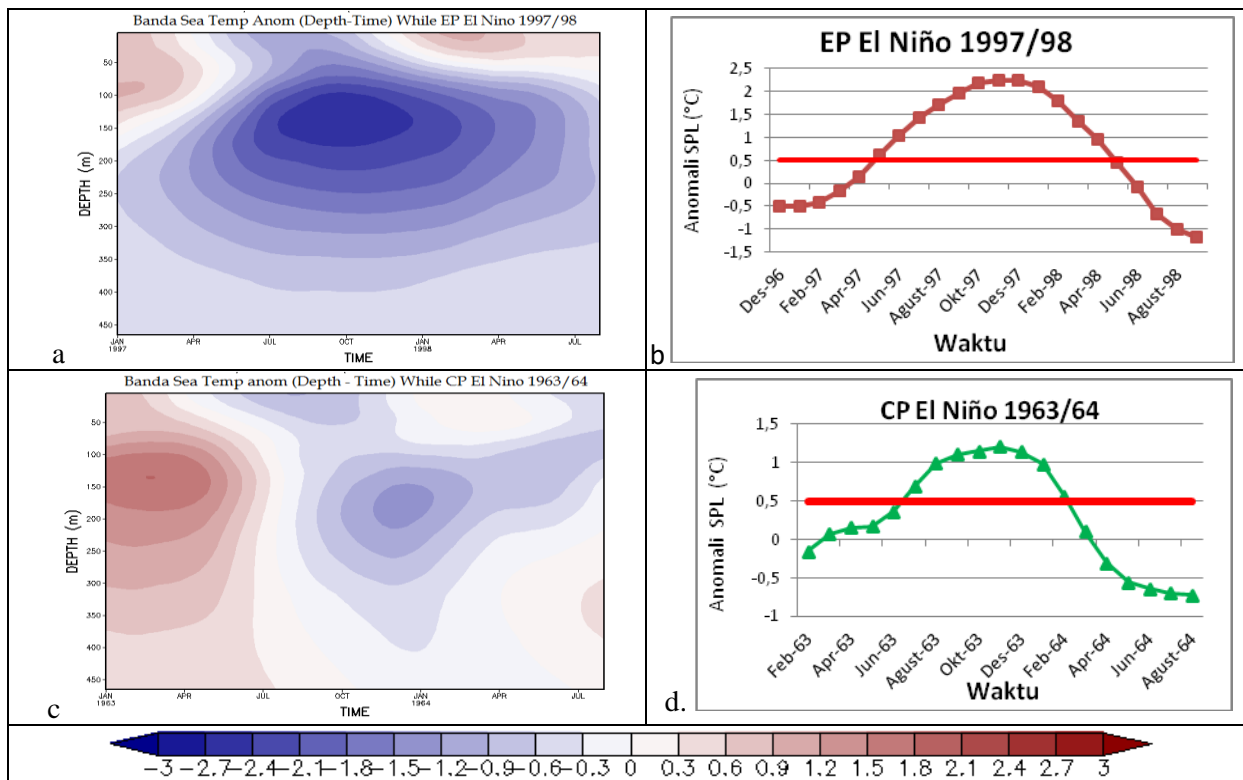
Banda. Suhu laut dekat permukaan lebih merespon saat CP El Niño sedangkan suhu pada lapisan dalam lebih merespon saat EP El Niño (Gambar 6). Sementara kondisi suhu laut lapisan dalam Laut Banda saat EP maupun CP El Niño sama-sama menunjukkan masih mengalami pendinginan. Hal ini diduga disebabkan perbedaan karakteristik antara kedua tipe El Niño tersebut. Massa air yang dibawa Arlindo dari Pasifik masuk ke Laut Banda (Ilahude & Gordon 1994) menyebabkan suhu di lapisan bawah permukaan mendingin lebih cepat. Perpindahan massa air dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia akibat perbedaan tekanan, sebagian besar terjadi pada kedalaman 200m

(Wyrtyk 1987; Kindle et al. 1989; Gordon et al. 1994).

Arlindo yang tidak terpengaruh pada pola monsun di Laut Banda, menyebabkan suhu laut di lapisan bawah permukaan masih mendingin meskipun EP dan CP El Niño mencapai fase punah. Hal berbeda terjadi pada suhu laut dekat permukaan dimana Laut Banda terlihat langsung memanas ketika CP El Niño punah. Oleh sebab itu, ketika akan terjadi EP El Niño pada tahun 1997/98, suhu lapisan bawah permukaan laut sudah memberi tanda dengan terjadi pendinginan yang mungkin bersamaan dengan perpindahan massa air hangat dari Pasifik Barat ke Pasifik Timur.



Gambar 5. Magnitude EP El Niño.
Figure 5. EP El Niño magnitude.



Gambar 6. (a). Diagram Hovmoller (kedalaman-waktu) anomali suhu laut untuk wilayah Laut Banda saat EP El Niño 1997/98, (b). ONI EP El Niño 1997/98, (c) Diagram Hovmoller anomali suhu laut saat CP El Niño 1963/64, (d) ONI CP El Niño 1963/64.

Figure 5. (a). Hovmoller diagram (depth-time) sea temperature anomaly at Banda Sea during EP El Niño 1997/98, (b) ONI EP El Niño 1997/98, (c) Hovmoller diagram during CP El Niño 1963/64 and (d) ONI CP El Niño 1963/64.

Kesimpulan

Kondisi profil suhu laut vertikal Laut Banda dipengaruhi oleh EP dan CP El Niño. Penurunan maksimum suhu laut saat EP El Niño mencapai -1.5°C sedangkan penurunan maksimum akibat CP El Niño mencapai -0.9°C . Penurunan suhu laut maksimum saat EP El Niño terjadi pada kedalaman 90–120 m, sedangkan saat CP El Niño terjadi lebih dalam yaitu pada kedalaman 140–160 m di Laut Banda Barat dan 160–200 m di Laut Banda Timur. Suhu laut dekat permukaan di Laut Banda terlihat lebih cepat merespon saat CP El Niño sedangkan suhu lapisan dalam lebih cepat merespon saat EP El Niño. Sementara kondisi suhu laut lapisan dalam Laut Banda saat EP maupun CP El Niño sama-sama menunjukkan masih mengalami pendinginan meskipun El Niño sudah dalam fase punah. Akan tetapi, suhu lapisan dekat permukaan sudah menghangat saat CP El Niño memasuki fase punah bahkan sebelum EP El Niño punah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak SODA dan NOAA yang telah menyediakan data *online* secara gratis yang digunakan untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ashok, K., Rao, S. K., Behera, H. Weng, and T. Yamagata. 2007. El Niño Modoki and Its Possible Teleconnection. *Journal of Geophysical Research* 112 (C11).
- Ashok, K., and T. Yamagata. 2009. The El Niño with a Difference. *Nature* 461:481–484.
- Bray, N. A., S. Hautala, J. Chong and J. Pariwono. 1996. Large-Scale Sea Level, Thermocline, and Wind Variation in the Indonesian through Flow Region. *Journal Geophys Research* 101:12239–12254.
- Carton, J. A., and B. S. Giese. 2005. SODA: A Reanalysis of Ocean Climate. *J. of Geophysical Research-Ocean* 2 (5):2999–3017.
- Carton, J. A., and B. S. Giese. 2008. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data

- Assimilation (SODA). *Monthly Weather Review* 136:2999–3017.
- Carton, J. A., G. A. Chepurin and L. Chen. 2018. SODA3: A New Ocean Climate Reanalysis. *Journal of Climate*.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D18-0149.s1>.
- Climate Prediction Center (CPC). 2015. Cold and Warm Episode by Season. NOAA/National Weather Service, Climate Prediction Centre. http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v4.shtml.
- Corvianawatie, C., M. R. Putri, S. Y. Cahyarini, and W. P. Tatipatta. 2014. Variability of Sea Surface Temperature and Sea Surface Salinity in the Ambon Bay and its Relation to ENSO/IOD and Monsoon. *Indonesia Jurnal of Geospatial* 3 (2):1-8.
- Di Lorenzo, E., K. M. Cobb, C. J. Furtado, N. Schneider, A. Bracco, A. M. Alexander, and D. J. Vimont. 2010. Central Pacific El Niño and Decadal Climate Change in the North Pacific Ocean. *Nature Geoscience* 3(11):762-765.
- Februarianto, M. 2013. Pengaruh Gaya Lokal dan Nonlokal Terhadap Variabilitas Kekuatan Upwelling di Laut Banda. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
- Gordon, A. L., A. Ffield, and A. G. Ilahude. Termoklin of the Flores and Banda Seas. *Journal of Geophysical Research* 99 (C9):18.235-18.242.
- Gordon, A. L., A. Ffield, K. Vranes, S. L. Garzoli, and R. D. Susanto. 2000. Temperature Variability within Makassar Strait. *J. Geophys. Res. Lett.* 27(2):237-240.
- Gordon, A. L., and R. D. Susanto. 2001. Banda Sea Surface Layer Divergence. *Ocean Dynamics* 52(1):2-10. doi:10.1007/s10236-001-8172-6.
- Gordon, A. L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. *Oceanography* 18 (4):16-27.
- Gordon, A. L., R. D. Susanto, A. Ffield, B. A. Huber, W. Pranowo and S. Wirasantosa. 2008. Makassar Strait Throughflow, 2004 to 2006. *Geophysical Research Letter*: 851-854. <https://doi.org/10.1029/2008GL036372>.
- Gumbira, G. 2015. Dinamika Upwelling Laut Banda tahun 1996-1998. Tesis program pasca sarjana. Institut Teknologi Bandung.
- Ilahude, A. G., and A. L. Gordon. 1994. Water Masses of the Indonesian Seas Through flow. *Proceeding IOC-WESTPAC Third International Scientific Symposium on Bali, Indonesia*.
- Ilahude, A. G., and A. L. Gordon. 1996. Thermocline Stratification Within Indonesia Seas. *Journal of Geophysical Research* 101 (C5):12401-12409.
- Iskandar. 2010. Seasonal and Interannual Patterns of Sea Surface Temperature in Banda Sea as Revealed By Self-Organizing Map. *Continental Shelf Research* 30:1136-1148.
- Kida, S. & Richards, K. J. (2009). Seasonal Sea Surface Temperature Variability in the Indonesian Seas. *Journal of Geophysic Research* 114 (C06016). doi:10.1029/2008JC005150.
- Kao, H. Y., and J. Y. Yu. 2009. Contrasting Eastern Pacific and Central Pacific Types of ENSO. *Journal of Climate* 22:615–632.
- Kindle, J. C., H. E. Hurlburt, and E. J. Metzger. 1989. On the Seasonal and the Interannual Variability of the Pacific to Indian Ocean Throughflow. Paper Presented at the Western Pacific Internastional Meeting and Workshop on TOGA COARE, Int. TOGA Off, Noumea. New Caledonia.
- Kug, J. S., F. F. Jin, and S. I. An. 2009. Two Types of El Niño Events: Cold Tongue El Niño and Warm Pool El Niño. *Journal of Climate* 22:1499–1515.
- Larkin, N. K., and D. E. Harrison. 2005. Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter. *Geophys. Res. Lett.* 32 (L13705). doi:10.1029/2005GL 022738.
- Meyers, G. 1996. Variations of the Indonesian through flow and the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research* 101:12411–12420.
- Mc Phaden, M. J., S. E. Zebiak, and M. H. Glantz. 2006. ENSO as an Integrating Concept in Earth Science. *Science* 314:1740.
- Prasetyo, B., N. Pusparini, and I. M. Radjawane. 2016. Variabilitas Suhu Permukaan dan bawah permukaan Laut di Perairan Laut Banda Saat El Niño. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan XIII ISOI 2016, Surabaya, 1-2 Desember 2016*.
- Pusparini, N., B. Prasetyo, Ambariyanto, and I. Widowati. 2017. The Thermocline Layer and Chlorophyll-a Concentration Variability during Southeast Monsoon in the Banda Sea. *IOP Conference Series Earth and Enviromental Science* 55(1):012039.
- Sprintall, J., and A. Reveland. 2014. The Indonesian Throughflow Response to Indo-Pacific Climate Variability. *J.Geophys. Res. Oceans* 119:1161-1175.

- Sulaiman. 2000. Banda Sea turbulence (Indonesia Through Flow Microstructure Introduction study). Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi. Jakarta.
- Sukresno, B., and Y. Sugimori. 2007. Dynamical Analysis of Banda Sea Concerning With El Niño, Indonesian Through Flow and Monsoon By Using Satellite Data and Numerical Model.
- Takahashi, K., K. Montecinos, K. Goubanova, and B. Dewitte. 2011. ENSO Regime: Reinterpreting the Canonical and Modoki El Niño. *Geophysical Research Letters* 38 (L10704): doi:10.1029/2011GL047364.
- Trenberth, K. E., and D. P. Stepaniak. 2001. Indices of El Niño Evolution. *Journal Climate* 14: 1697–1701.
- Wyrtki, K. 1961. Physical Oceanography of the Southeast Asean Waters, NAGA Report 2. Scripps Inst. of Oceanography La jolla. California.
- Wyrtki, K. 1987. Indonesian Throughflow and Associated Pressure Gradient. *Journal of Geophysic Research* 92 (12): 941-946.
- Yu, J. Y., H. Y. Kao, T. Lee, and T. S. Kim. 2011. Subsurface Ocean Temperature Indices for Central-Pacific and Eastern-Pacific types of El Niño and La Niña events. *Theor Appl Climatol* 103: 337–344.
- Yu, J. Y., Y. Zou, T. S. Kim, and T. Lee. 2012. The Changing Impact of El Niño on US Winter Temperature. *Geophysical Research Letter* 39 (LI5702). doi:10.1029/2012GL052483.2012.
- http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Data ONI, diakses bulan Juni 2016.
- https://www.atmos.umd.edu/~ocean/Data_SODA 2.2.4 Diakses bulan April 2016, data SODA3 diakses bulan Oktober 2018.