

Analisis Sinyal El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Hubungannya dengan Variabilitas Arus Lintas Indonesia di Selat Lifamatola

Ajeng P. P. Oktaviani^{1*}, Nining S Ningsih¹, Irsan S. Brodjonegoro² & Anastasia R.T.D. Tislana³

¹Program Studi Oseanografi FITB - ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung

Telp: +6222 2500494, Fax: +6222 2534139, email: prodi.oseanografi@yahoo.co.id

²Program Studi Teknik Kelautan FTSL - ITB, Jl. Ganesha No.10 Bandung

³BRKP – DKP, Jl. Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta 14430, Indonesia

Abstrak

Di dalam makalah ini dijelaskan analisis transpor Arlindo yang melalui Selat Lifamatola dengan data IOS yang merepresentasikan ENSO. Selat Lifamatola merupakan salah satu jalur bagian timur Arlindo yang memiliki sill di kedalaman sekitar 1940 m. Data yang digunakan adalah kecepatan arus yang diperoleh dari mooring INSTANT pada periode waktu 2004-2006 dan data IOS. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode low pass filter, analisis spektral, dan korelasi silang. Kecepatan arus di Selat Lifamatola pada kedalaman 1000-1300 m dominan ke arah barat laut, sedangkan pada kedalaman 1400-2000 m ke tenggara yang merepresentasikan Arlindo. Hasil studi memperlihatkan adanya korelasi antara kecepatan arus (transpor Arlindo) di Selat Lifamatola dengan fenomena ENSO, yaitu adanya pelemahan/penguatan transpor Arlindo ke arah tenggara yang berkaitan dengan fenomena El Niño/La Niña. Nilai korelasi silang kecepatan arus dan data IOS adalah $r(2-7)=0,3718-0,7040$ pada kedalaman 1000-1500 m dengan time lag antara 2-7 bulan dan pada kedalaman 1600-2000 m diperoleh nilai korelasi $r(-11) = 0,5022-0,5538$ dengan time lag 11 bulan.

Kata kunci: Arlindo, ENSO, La Niña, El Niño, korelasi silang, IOS, Selat Lifamatola

Abstract

This paper describes correlation between ITF transports through the Lifamatola Strait with SOI data representing ENSO phenomenon has been carried out. The Lifamatola Strait is one of the ITF eastern routes which has sill around a depth of 1940 m. Current velocity data of INSTANT mooring deployed in 2004-2006 and SOI data were used in this study. The data analysis was done by using methods of low pass filter, spectral analysis, and cross correlation. The currents in the Lifamatola Strait flow dominantly northwestward in depths of 1000-1300 m, while in depths of 1400-2000 m the currents flow dominantly southeastward representing the ITF. Results of this study showed that there was a correlation between the velocity current (ITF transports) in the Lifamatola Strait with ENSO phenomenon, namely the strengthening/weakening southeastward transport of the ITF during El Niño/La Niña phenomenon. Cross correlation values of the current velocity and SOI data in the Lifamatola Strait are $r(2-7) = 0.3718-0.7040$ at depths of 1000-1500 m with time lag of 2-7 months and those are $r(-11) = 0.5022-0.5538$ with time lag of 11 months.

Key words: Indonesian Throughflow (ITF), ENSO, La Niña, El Niño, Cross corelation, SOI, Lifamatola Strait

Pendahuluan

Di perairan Indonesia terdapat fenomena-fenomena yang sangat penting yang dapat mempengaruhi iklim dan sirkulasi laut global. Salah satunya adalah Arlindo (Arus Lintas Indonesia) atau *Indonesian Throughflow (ITF)*. Arlindo adalah suatu sistem arus yang menghubungkan Samudera Pasifik dengan Samudera Hindia. Jalur Arlindo dimulai dari perairan di sekitar Mindanao dan Halmahera, kemudian selain mengalir masuk melalui Selat Makassar sebagai

jalur utamanya adapula yang melalui Selat Lifamatola. Sebagian massa air Arlindo dari Selat Makassar meninggalkan perairan Indonesia melalui Selat Lombok dan sebagian besar lainnya berbelok melalui Laut Flores, Laut Banda, Selat Ombai, Laut Timor, dan memasuki Samudera Hindia (Gordon, 2005). Demikian pula massa air yang melalui Selat Lifamatola mengalir melalui Laut Banda dan selanjutnya keluar menuju Samudera Hindia.

Peristiwa El Niño yang merupakan bergesernya

massa air hangat dari ekuatorial Pasifik barat ke arah timur sampai pesisir Peru, menurunkan/menaikkan permukaan laut di barat/timur Pasifik sekitar 10-20 cm. Selain itu, pergeseran massa air hangat ke timur juga membawa massa udara yang lembab di atasnya, sehingga curah hujan di sisi timur meningkat menyebabkan terjadinya banjir dan tanah longsor, sementara itu pada sisi barat Pasifik seperti Indonesia mengalami kekeringan, sehingga kebakaran hutan tropis mudah terjadi.

Pemanasan/pendinginan suhu muka laut di daerah Niño3 memiliki kaitan erat dengan terjadinya El Niño dan La Niña, yang kerap kali mengakibatkan kekeringan/curah hujan tinggi di wilayah Asia, termasuk Indonesia. Selain itu, kekuatan Arlindo tersebut pada saat El Niño akan mengalami penurunan, sedangkan pada saat La Niña kekuatan arusnya akan mengalami peningkatan. Dengan demikian transpor Arlindo berkaitan dengan fenomena ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), dimana net transpor pada saat La Niña membesar dan pada saat terjadinya El Niño net transpor akan mengecil dan hal ini telah dibuktikan oleh para peneliti sebelumnya terbukti pada tahun-tahun terjadinya El Niño dan La Niña (Susanto, 1999; Sudjono, 2004).

Untuk mempelajari kaitan Arlindo dengan fenomena El Niño dan La Niña telah dipasang 11 *mooring* data arus oleh Badan Riset Kelautan dan Perikanan (BRKP)-DKP, serta institusi-institusi dari luar negeri melalui program riset INSTANT (*Internasional Nusantara Transport and Stratification*) di beberapa daerah, antara lain: Selat Lombok, Selat Timor, Selat Ombai, Selat Makassar, dan Selat Lifamatola.

Penelitian di daerah Selat Makassar dan Selat Lombok sudah banyak dilakukan, tetapi di jalur timur Kepulauan Indonesia, khususnya Selat Lifamatola, kajian tentang korelasi Arlindo di daerah tersebut dengan fenomena ENSO masih jarang diteliti. Oleh karena itu dinamika Oseanografi di Selat Lifamatola menarik untuk dikaji, khususnya Kajian tentang hubungan fenomena ENSO terhadap variabilitas Arlindo di Selat Lifamatola.

Materi dan Metode

Data yang digunakan adalah data kecepatan arus di perairan Selat Lifamatola pada tahun 2004-2006 dan untuk mendeteksi korelasinya dengan fenomena El Niño dan La Niña digunakan data Indeks Osilasi Selatan (IOS) (<http://www.longpaddock.gov>) pada periode waktu tersebut. Data kecepatan arus diperoleh dari program riset INSTANT yang merupakan kerjasama antara Indonesia dengan Amerika Serikat, Australia, Perancis, dan Belanda. Lokasi pengambilan data

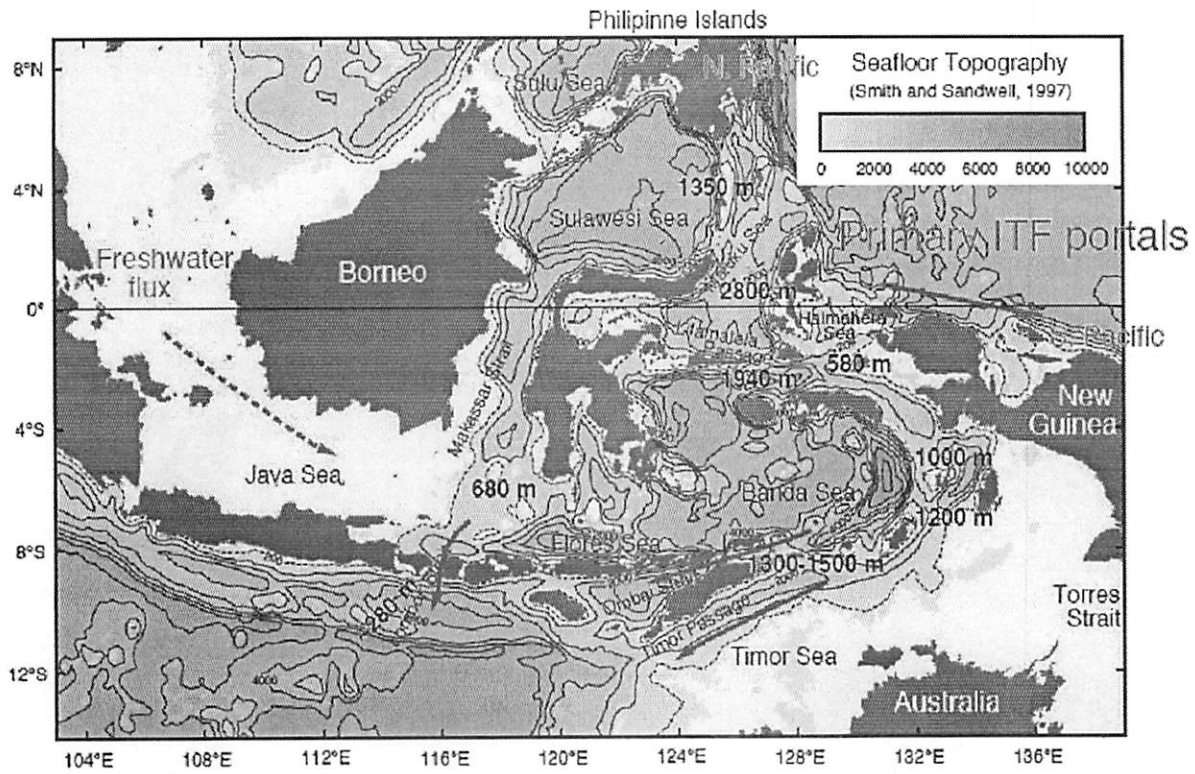
mooring terletak di Selat Lifamatola yang berada di lintang $1^{\circ} 49' 05,88''$ dan bujur $126^{\circ} 57' 50,80''$ dengan jumlah pengambilan hari 1043 hari dari periode 27 Januari 2004-4 Desember 2006.

Metode-metode yang digunakan pada penelitian ini, antara lain: *low pass filter*, analisa spektral, dan korelasi silang. Data arus per 1 jam difilter dengan menggunakan filter frekuensi lolos rendah (*lowpass filter*) untuk menghilangkan data dengan periode kurang dari 48 jam. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan sinyal pasang surut yang memperlihatkan fluktuasi data yang sangat besar. Hasil filter berupa *trend* dari data sehingga analisis sinyal data non pasutnya lebih mudah untuk dilakukan, (Magetsari, 2005). Analisis spektral dilakukan untuk menghitung periode dan frekuensi dominan di Selat Lifamatola. Metode korelasi silang bertujuan untuk mengetahui keterkaitan antara fluktuasi nilai Indeks Osilasi Selatan, yang menunjukkan kejadian fenomena El Niño atau La Niña, terhadap nilai transpor Arlindo di Selat Lifamatola. Analisis ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari fenomena El Niño atau La Niña terhadap variabilitas nilai Arlindo di Selat Lifamatola. Analisis korelasi silang menggunakan selang kepercayaan 95% ($\alpha=0,05\%$) dengan *time lag* (ketertinggalan waktu) yang berbeda-beda. Hipotesa yang digunakan adalah pada saat terjadi El Niño (La Niña) maka Arlindo akan mengalami penurunan (kenaikan) nilai. Selanjutnya, jumlah data Arlindo (N) dikorelasikan terhadap nilai IOS. Untuk data Arlindo 36 bulan, dengan derajat kebebasannya (ν)= $N-1=35$ menghasilkan nilai koefisien korelasi signifikan $r_p = 0,325$, sedangkan untuk data Arlindo pada kedalaman 1600-2000 m yang berjumlah 18 bulan, dengan derajat kebebasan (ν)= $N-1=17$, menghasilkan nilai koefisien korelasi signifikan sebesar $r_p = 0,456$ (Emery & Thomson, 1998).

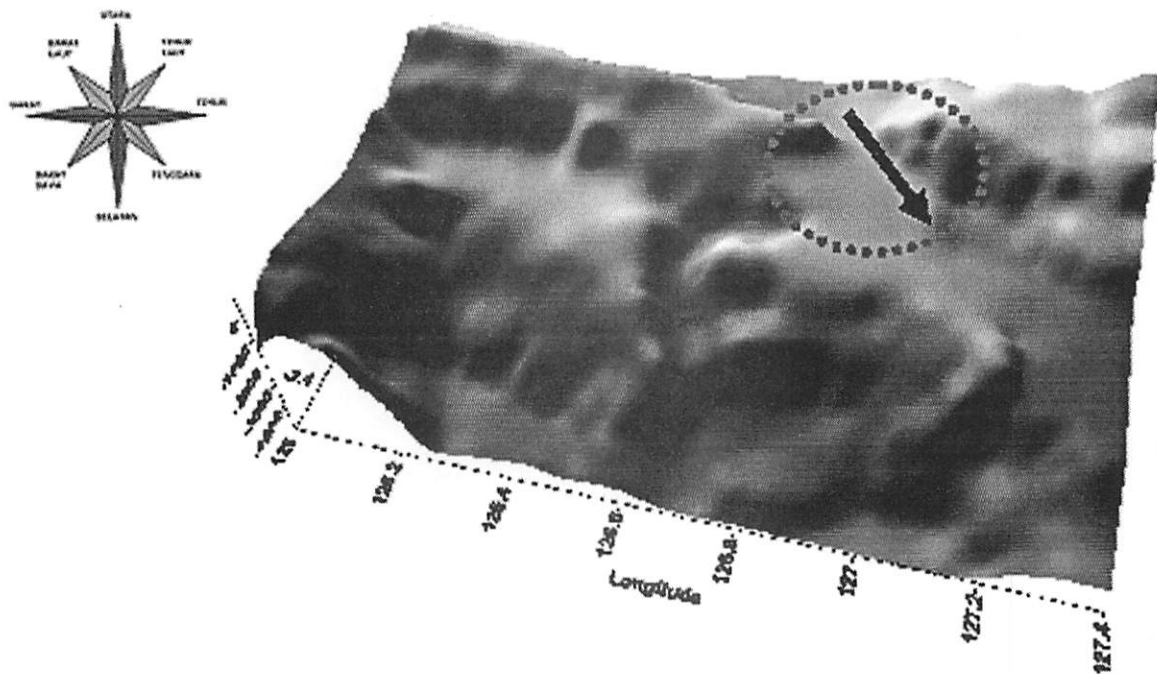
Hasil dan Pembahasan

Pola arus rata-rata

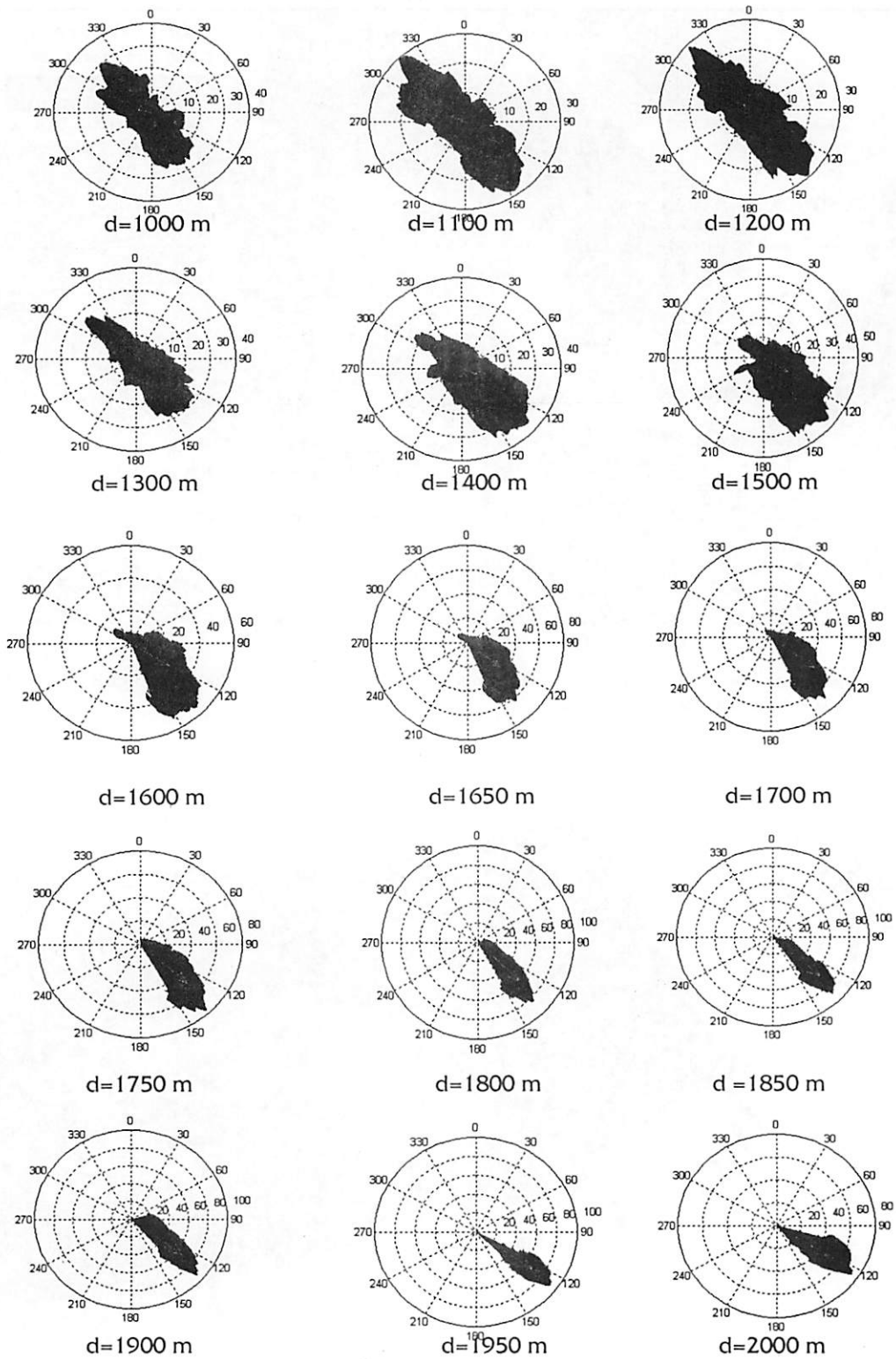
Gambar 3 memperlihatkan hasil pengolahan data *current rose* pada kedalaman 1000-2000 m, sedangkan Gambar 4 menunjukkan profil kecepatan arus rata-rata terhadap kedalaman. Pada kedalaman 1000-1300 m terlihat arus dominan mengalir ke arah barat laut, sedangkan pada kedalaman dari 1400-2000 m arah arus dominan menuju tenggara. Pola arus rata-rata pada kedalaman 1000-1300 m tidak dapat dianalisis lebih lanjut karena tidak adanya informasi pendukung yang dapat menjelaskan terjadinya arah arus dominan ke barat laut pada kedalaman tersebut, tetapi pada kedalaman 1400-2000 m arus dominan ke arah tenggara merupakan representasi dari Arlindo.



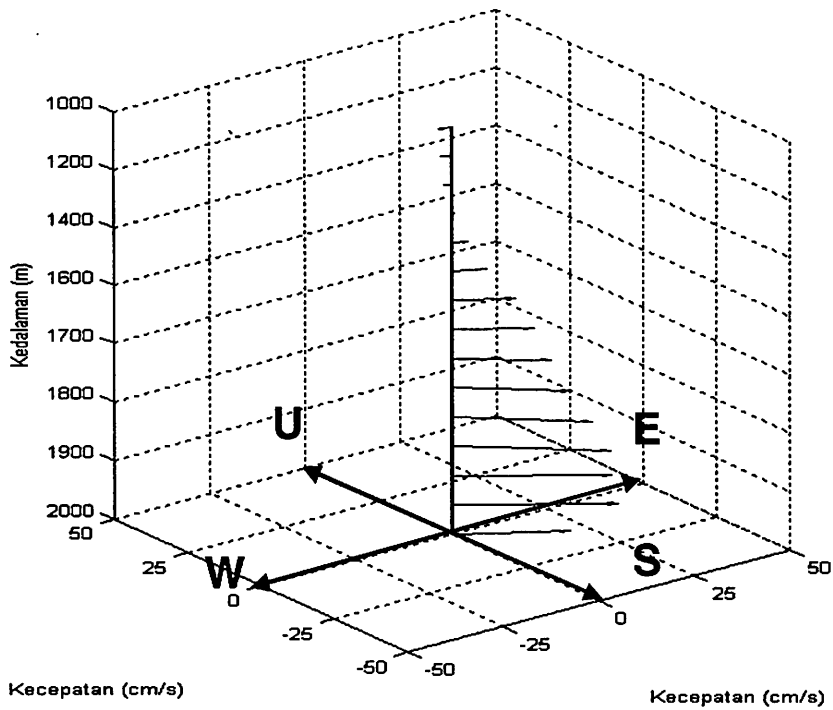
Gambar 1. Jalur Arlindo. Keterangan: panah tebal merupakan jalur utama Arlindo, sedangkan panah garis putus-putus adalah jalur kedua Arlindo. (Sumber: Gordon, 2005)



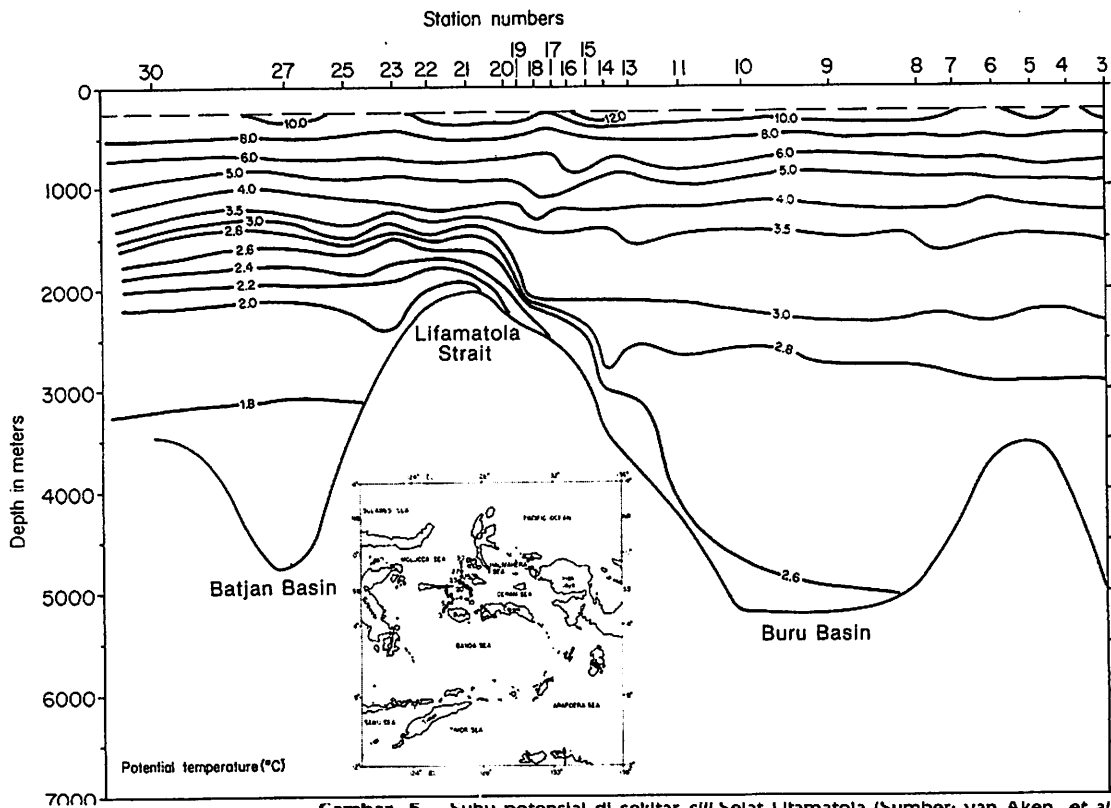
Gambar 2. Penampang 3 dimensi Sill di Selat Lifamatola



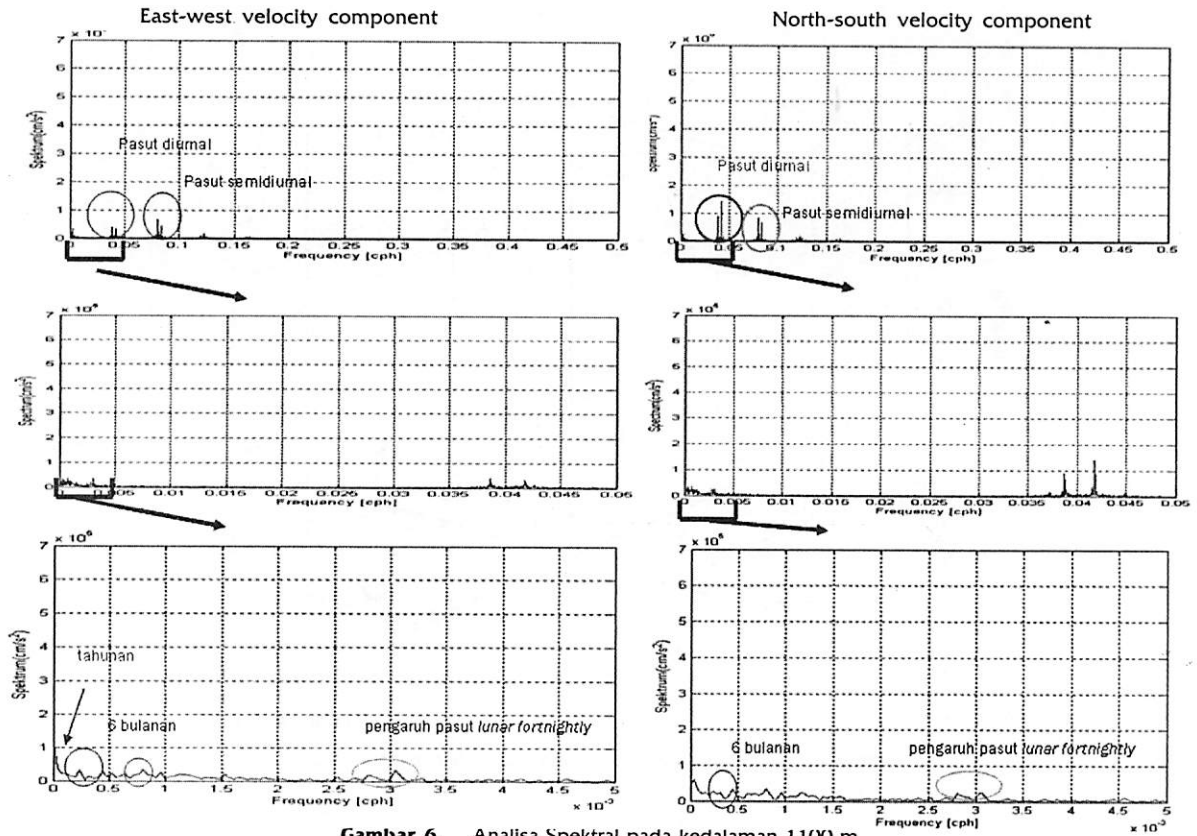
Gambar 3. Current rose kecepatan arus pada kedalaman 1000-2000 m



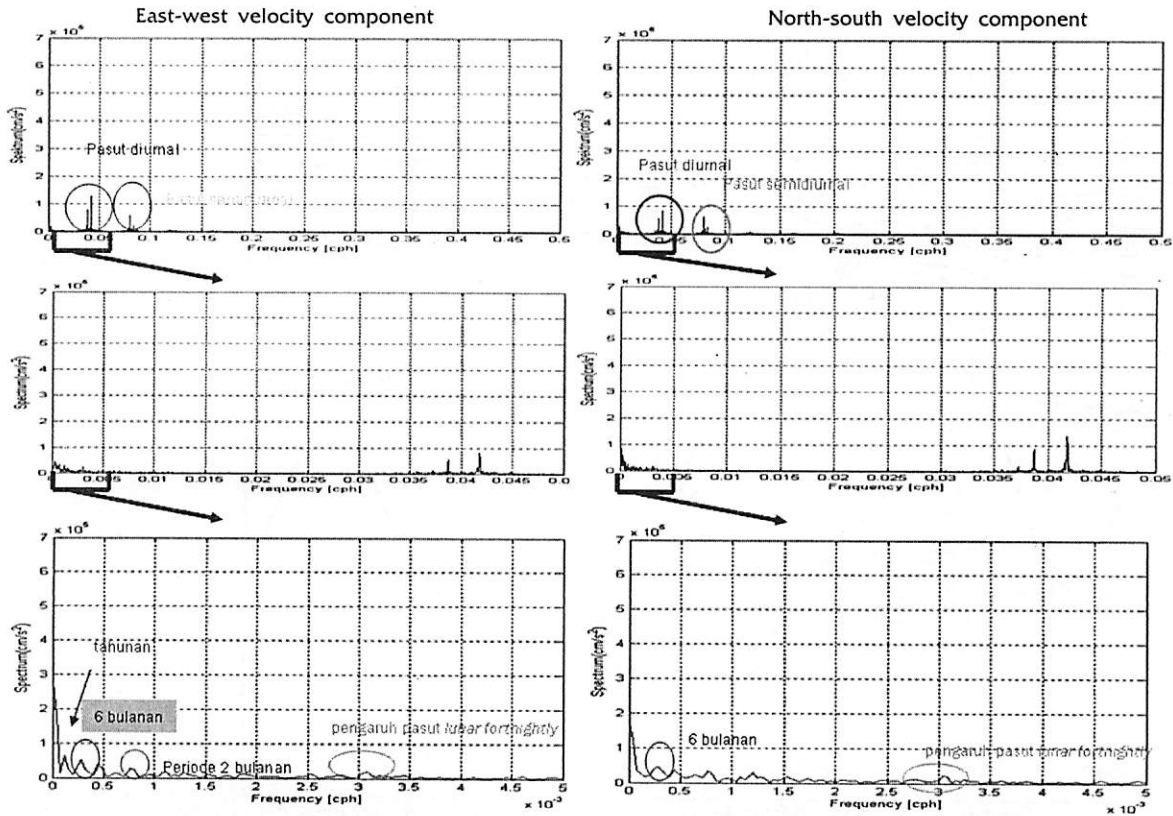
Gambar 4. Profil kecepatan arus rata-rata terhadap kedalaman



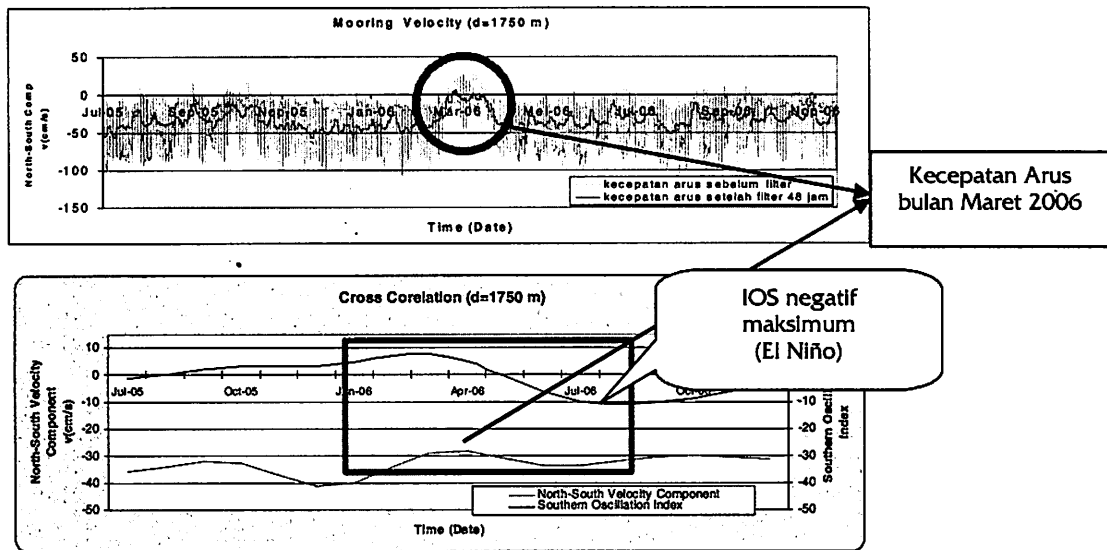
Gambar 5. Suhu potensial di sekitar sili Selat Litamatola (Sumber: van Aken, et al., 1988)



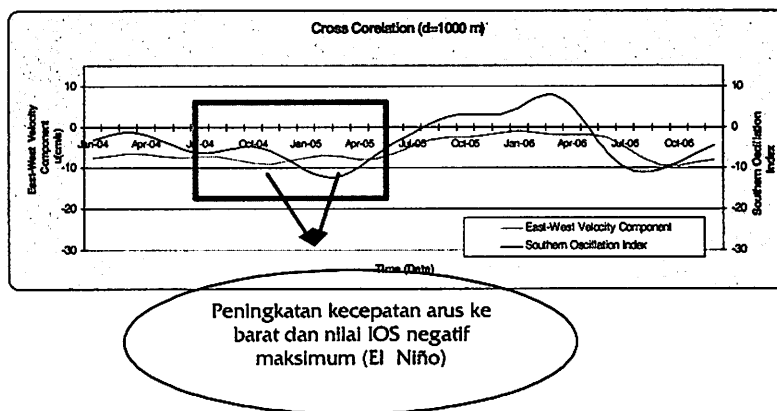
Gambar 6. Analisa Spektral pada kedalaman 1100 m



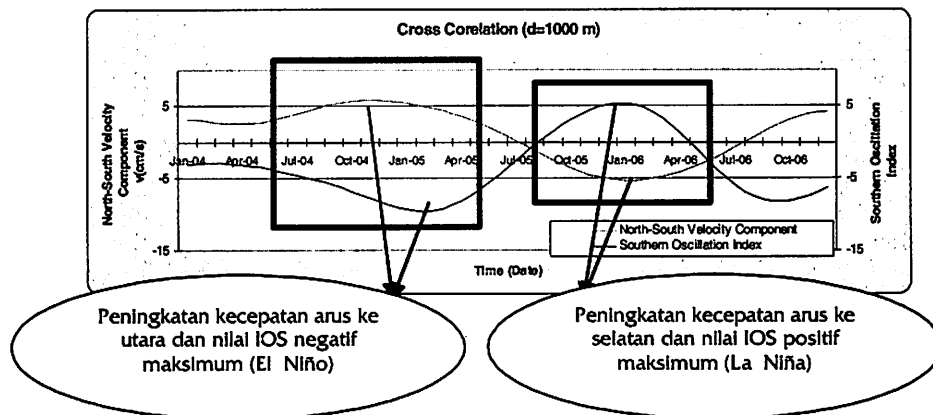
Gambar 7. Analisa Spektral pada kedalaman 1600 m



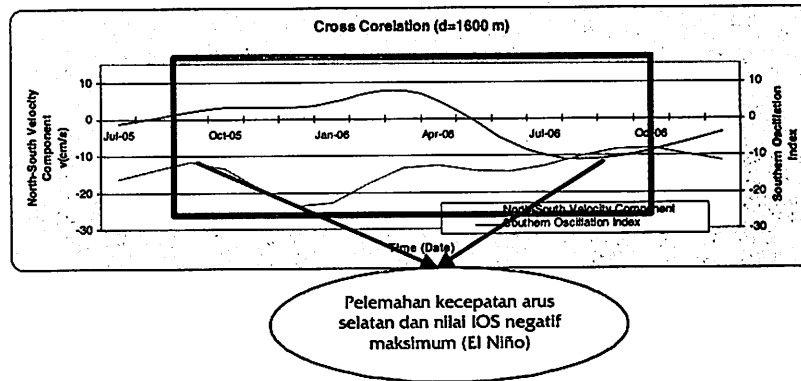
Gambar 8. Perubahan arah arus pada bulan Maret 2006



Gambar 9. Korelasi silang komponen timur-barat (filter 6 bulan) dengan nilai korelasi $r(-4) = 0,5419$ pada kedalaman 1000 m



Gambar 10. Korelasi silang komponen utara-selatan (filter 1 tahun) dengan nilai korelasi $r(-3) = 0,6952$ dan $r(1) = -0,8297$ pada kedalaman 1000 m



Gambar 11. Korelasi silang komponen utara-selatan (filter 6 bulan) dengan nilai korelasinya $r(-11)=0,5538$ pada kedalaman 1600 m

Tabel 1. Frekuensi-frekuensi dominan pada komponen arus arah-U dan arus arah-V

Komponen arus arah-U	Komponen arus arah-V	Periode	Analisis
$fH^* 0,08$	$fH^* 0,08$	12 jam	Pasut semidiurnal
$fH^* 0,04$	$fH^* 0,04$	24 jam	Pasut diurnal
$fH^* 0,0031$	$fH^* 0,0031$	2 minggu	Pengaruh pasut <i>Lunar Fortnightly</i>
	$fH^* 0,0018$	4 minggu	Pengaruh pasut <i>Moon Annual Constituents</i>
$fH^* 0,0008$	$fH^* 0,0008$	2 bulanan	Pengaruh pasut periode 2 bulanan
$fH^* 0,00047$		3 bulanan	Pengaruh musiman karena pergantian musim
$fH^* 0,00025$	$fH^* 0,00025$	6 bulanan	<i>Eddy time scale, Solar Semi-annual Constituents</i>
$fH^* 0,0001$	$fH^* 0,00001$	1 tahunan	Periode tahunan

Tabel 2. Nilai korelasi silang dan keterlambatan waktu pada setiap kedalaman dan setiap komponen kecepatan arus untuk data yang difilter 6 bulan.

Kedalaman (m)	El Niño				La Niña			
	Koefisien Korelasi		Time Lag		Koefisien Korelasi		Time Lag	
	u	v	u	v	u	v	u	v
1000	0,5419	-0,3783	-4	-4				
1100	0,5633	-0,4467	-4	-4	0,7030	-0,6370	-2	-2
1200	0,5089	-0,4233	-4	-4	0,7040	-0,6288	-2	-2
1300	0,0081	-0,1053	-4	-5	0,0081	-0,4826	-4	-2
1400	-0,3718	0,4176	-5	-7				
1500	-0,4174	0,4815	-6	-7				
1600	-0,5361	0,5538	-11	-11				
1650	-0,5261	0,5469	-11	-11				
1700	-0,5208	0,5414	-11	-11				
1750	-0,5162	0,5347	-11	-11				
1800	-0,5132	0,5262	-11	-11				
1850	-0,5110	0,5176	-11	-11				
1900	-0,5102	0,5169	-11	-11				
1950	-0,5156	0,5022	-11	-11				
2000	-0,5191	0,5025	-11	-11				

Tabel 3. Nilai korelasi silang dan keterlambatan waktu pada setiap kedalaman dan setiap komponen kecepatan arus untuk data yang difilter 1 tahun.

Kedalaman (m)	El Niño				La Niña			
	Koefisien Korelasi		Time Lag		Koefisien Korelasi		Time Lag	
	u	v	u	v	u	v	u	v
1000	-0,3783	0,6952	-4	-3	-0,8297			1
1100	0,6368	-0,5153	-4	-4	-0,9120			1
1200	0,5987	-0,5031	-4	-4	-0,9226			1
1300	-0,0162	-0,3130	-4	-4	-0,7688			1
1400	-0,3874	0,2045	-4	-4	-0,0620			1
1500	-0,4662	0,4349	-4	-4	0,3603			1

Pada kedalaman 1650 m terdapat *overflow* (limpahan massa air) disebabkan adanya *sill* di Selat Lifamatola (Gambar 5). Massa air dari Samudera Pasifik yang terhalang oleh *sill* akan mengalir di permukaan *sill* dan menyebabkan *overflow* (van Aken, et al., 1988).

Sinyal-sinyal dominan

Hasil pengolahan data analisa spektral yang dilakukan terhadap kecepatan arus memperlihatkan pada kedalaman 1000 dan 1100 m untuk komponen arus arah-*U* periode yang paling dominan adalah periode 12 jam atau komponen semidiurnal (Gambar 6). Sedangkan, pada kedalaman 1200 m komponen arus arah-*U* periode yang dominan adalah 12 jam dan 24 jam yang berarti kedua komponen semidiurnal dan diurnal saling mempengaruhi. Untuk kedalaman lainnya baik komponen arus arah-*U* dan komponen arus arah-*V* terlihat periode dominannya 24 jam yang merupakan komponen diurnal (Gambar 7).

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut terlihat bahwa tipe pasang surut di Selat Lifamatola didominasi pasang surut diurnal. Hal ini sesuai dengan van Aken dan Makarim (2007) yaitu komponen pasut yang dominan adalah komponen O1 dan K1.

Dari hasil analisis spektral tidak bisa diperoleh periode ENSO karena data yang digunakan kurang panjang (<3 tahun). Periode 6 bulanan yang diperoleh dari hasil pengolahan data kemungkinan terkait dengan dua fenomena. Pertama adalah adanya faktor skala waktu eddy (*eddy time scale*) yang berkisar antara tiga hari sampai enam bulan dan faktor yang kedua adalah adanya faktor siklus pasang surut akibat pengaruh posisi bumi terhadap matahari yaitu *Solar Semi-annual Constituents* (182,6 hari), yaitu waktu yang dibutuhkan oleh matahari untuk merubah deklinasi matahari dari nol derajat sampai maksimum dan kembali lagi ke nol derajat dikarenakan oleh adanya variasi atau perbedaan deklinasi matahari (Krisnoto, 2007). Periode 3 bulanan merupakan periode musiman yaitu periode dimana terjadinya peralihan dari musim peralihan I ke musim timur lalu ke musim peralihan II dan ke musim barat. Periode 2 mingguan merupakan pengaruh dari komponen pasang surut *Lunar Fortnightly* (13,66 hari), yaitu waktu bulan untuk merubah deklinasi bulan dari nol derajat atau ekuator ke derajat maksimum dan kembali lagi ke nol derajat. Periode tahunan menunjukkan adanya faktor sinyal tahunan. Sedangkan, periode 4 mingguan disebabkan adanya pengaruh pasang surut periode panjang yang memiliki periode 27,55 hari yaitu *Moon Annual Constituents* (Mm). Frekuensi-frekuensi dominan yang diperoleh dari analisa spektral selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Variabilitas arlindo dan korelasinya dengan ENSO

Setelah nilai kecepatan arus dan nilai IOS difilter selama 48 jam ditemukan bahwa pada bulan Maret 2006 untuk semua kedalaman (1000-2000 m) terdapat perubahan arah arus yang signifikan yang berkaitan dengan fenomena ENSO yaitu kejadian El Niño pada bulan Juli 2006 yang menyebabkan adanya perubahan arus pada bulan-bulan tertentu.

Gambar 8 merupakan contoh kasus untuk menjelaskan terjadinya perubahan arah arus pada bulan Maret 2006 yang diwakili oleh data arus arah-*V* pada kedalaman 1750 m. Terlihat perubahan arah arus pada bulan Maret 2006 tersebut berhubungan dengan fenomena ENSO. Ketika nilai IOS negatif mencapai maksimum atau kondisi dimana terjadinya El Niño pada bulan Juli 2006 maka sebelumnya diikuti oleh transpor Arlindo yang menguat ke utara pada bulan Maret 2006. Korelasi nilai IOS dengan variabilitas kecepatan arus tidak selalu terjadi bersamaan, contohnya pada kasus ini terjadi perbedaan waktu selama 4 bulan.

Hasil korelasi silang antara kedua parameter, yaitu kecepatan arus dan nilai IOS memperlihatkan adanya *time lag* dan variasi nilai korelasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-11.

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 terlihat bahwa terdapat korelasi signifikan ($> r_p$) antara kecepatan arus dan IOS yang berarti adanya hubungan antara transpor Arlindo dan fenomena ENSO di Selat Lifamatola, yaitu pada kedalaman 1000-1500 m berkorelasi dengan *time lag* 2-7 bulan dengan nilai korelasi antara $r = 0,3718-0,7040$, sedangkan pada kedalaman dan 1600-2000 m *time lag*-nya 11 bulan dengan nilai korelasi $r(-11) = 0,5022-0,5538$.

Hasil studi ini memperkuat pernyataan Susanto (1999) bahwa terdapat hubungan antara variabilitas Arlindo dan fenomena El Niño dan La Niña. Pada umumnya untuk semua kedalaman, fluktuasi kecepatan arus di Selat Lifamatola dapat dikatakan berkaitan dengan fenomena ENSO.

Kesimpulan

Pola arus di perairan Selat Lifamatola pada kedalaman 1000-1300 m dominan ke barat laut dan pada kedalaman 1400-2000 m menuju ke tenggara yang merepresentasikan Arlindo. Pada bulan Maret 2006 terjadi perubahan arah kecepatan arus baik komponen arah-*U* maupun komponen arah-*V* di kedalaman 1000-2000 m. Untuk komponen kecepatan arus arah-*U* yang menuju ke timur, cenderung

berubah ke barat, sedangkan untuk komponen arus arah-V yang ke selatan, cenderung berubah ke utara. Perubahan kecepatan arus ini berkaitan dengan fenomena ENSO, yaitu El Niño. Korelasi antara kecepatan arus dan SOI menunjukkan adanya hubungan antara transpor Arlindo dan fenomena ENSO di Selat Lifamatola, yaitu pada kedalaman 1000-1500 m nilai korelasinya berkisar 0,3718-0,7040 dengan *time lag* 2-7 bulan dan pada kedalaman 1600-2000 m nilai korelasinya berkisar 0,5022-0,5683 dengan *time lag* 11 bulan.

Ucapan Terima Kasih

Terima Kasih kami ucapkan kepada Badan Riset Kelautan dan Perikanan-Departemen Kelautan dan Perikanan yang telah memberikan data-data yang diperlukan untuk penelitian ini. Terima Kasih pula kepada Dr. Hendrik M. van Aken-Royal *Netherlands Institute for Sea Research* atas bantuan pemikiran dan dukungannya.

Daftar Pustaka

- Emery, W. J. & R. E. Thomson. 1998. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon. Great Britain.
- Gordon, A. L., 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. *Oceanography* 18(4): 42-49.
- Krisnoto., 2007. Keragaman Suhu, Salinitas, dan Kecepatan Arus di Selat Lifamatola (Maret 2004-Mei 2005). Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan: Institut Pertanian Bogor.
- Magetsari, R. N., 2005. Analisis Variabilitas Arlindo (1993-1994 dan 1996-1998) di Selat Makassar dan Debit Sungai Mahakam (1994-1998) Berdasarkan Data Pengamatan. Program Studi Oseanografi. Departemen Geofisika dan Meteorologi: Institut Teknologi Bandung.
- Sudjono, E. H., 2004. Studi Variabilitas Arus Lintas Indonesia (Arlindo) di Indonesia Bagian Timur. Tesis Magister. Bandung: Program Pasca Sarjana. Departemen Geofisika dan Meteorologi. Institut Teknologi Bandung.
- Susanto, D., 1999. El Nino Southern Oscillation signal in the Indonesian Throughflow: Preliminary Arlindo Results from Makassar Strait Mooring. *J. Oceanica* 05: 1-12.
- van Aken, H. M. van, J. Punjanan, & S. Saimima, 1988. Physical Aspect of The East Flushing of The East Indonesian Basins. *Netherlands J. of Sea Res.* 22 (4): 315-339.
- van Aken, H.M. & S. Makarim. 2007. INSTANT presentation: Observations in Lifamatola Passage. NIOZ. Bogor.