



JURNAL

Agroekologi dan Konservasi
Sumber Daya Alam

Volume 1, Edisi 1
Agustus 2014



JURNAL AGROEKOLOGI dan KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM Agustus 2014



Diterbitkan Oleh :
**Lembaga Penelitian
Universitas Nusa Cendana**

JURNAL AGROEKOLOGI DAN KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM

- Penanggung Jawab : Prof.Dr.Mintje Ratoe Oedjoe, M.Pd
Pemimpin Umum : Dr.Ir.L. Michael Riwu Kaho, M.Si
Sekretaris : Dr.Ir.Fonny J.L. Risamasu, M.Si
Dewan Redaksi : Prof.Dr.Ir I Nyoman Merit.,M.Agr (Universitas Udayana);Prof.Dr.Ir. Gusti Ayumayani Kristina Dewi (Universitas Udayana) Prof.Dr.Ir.Naik Sinukaban (Institut Pertanian Bogor) Prof.Dr. Totok (Universitas Gajah Mada) Prof.Dr. Sampe Palembang (Universitas Hasanudin) Bronwyn Anne Myers (Charles Darwin University) Dr.Ir. I Made Nuriyasa, MS (Universitas Udayana) Dr.Ir.Silvanus Talakua, MP (Universitas Pattimura) Dr.Sunarti, SP.,MP (Universitas Jambi) Dr.Ir. Satria Jaya Priatna, MS (Universitas Sriwijaya Palembang) Syaiful Anwar (Sekretaris MKTI) Dr.Maria Ratnaningsih, SE.,MA (Universitas Gajah Mada)
- Staf Redaksi : Tadius Mage, Paulus Malelak, Ebit Robinson Sonlay, Ridwan Hamal, Fredyk Haba Djingi, Yustus Sabaat, Anderias Nabut
- Tata Usaha : Jane E. Hadjo, Ripce Tananggau, Sarlota Kale Ga
Design/Layout : Yopie Liliwery
Penerbit : Lembaga Penelitian Undana

Diterbitkan secara teratur tiga volume tiap tahun oleh Lembaga Penelitian, Universitas Nusa Cendana

Kantor Redaksi : Adisucipto-Penfui Kupang, Nusa Tenggara Timur

Telepon/Fax : (0380) 881650

Email : lemlit.undana@yahoo.com

DAFTAR ISI

JURNAL AGROEKOLOGI DAN KONSERVASI SUMBER DAYA ALAM

Volume 1 No 1 Agustus 2014

Naskah Asli

Prof.Ir.Fredrik Lukas Benu, M.Si.,Ph.D

Public-Private Partnership to Promote Agribusiness in East Nusa Tenggara Province of Indonesia A Case Study of Mungbean Industry(Hal. 1 – 12)

Prof.Dr.Mien Ratoe Oedjoe, M.Pd

Peran Perempuan Dalam Menghadapi Perubahan Iklim Di Kabupaten Kupang (Hal.13 – 24)

I.M. Nuriyasa, G.A.M

Iklim Mikro dan Dimensi Tubuh Sapi Bali yang Dipelihara secara “Feed Lot” pada “Altitude” berbeda (Hal. 25 – 34)

Emil Azmanajaya

Model Penyediaan Air Bersih Secara Berkelanjutan di Pulau Kecil (Studi Kasus : Pulau Tarakan – Kaltara) (Hal.35 – 44)

Ir. W.I.I Mella, M.Sc.,Ph.D

Loss-On-Ignition dalam Pendugaan Kandungan Karbon Organik dan Besaran Faktor Konversi Bahan Organik pada Berbagai Ordo Tanah di Nusa Tenggara Timur (Hal. 45 – 58)

Yuli Naulita

Variabilitas Suhu dan Arus Pada Lapisan Termoklin Selat Makassar dan Data Mooring Instant (Hal. 59 – 76)

Dr.Ir.Fonny J.L. Risamasu, M.Si

Analisis Hasil Tangkapan Kepiting Bakau (*Scylla SP*) Menggunakan Bubu Tipe Kerucut yang dioperasikan di Perairan Desa Oebelo Kecamatan Kupang Tengah Kabupaten Kupang (Hal. 77 – 91)

Dr.Ir.L. Michael Riwo Kaho, M.Si

Produktivitas Agroekosistem Daerah Penggembalaan Dalam Kawasan Hutan Yang Diperbaiki Di Hulu Daerah Aliran Sungai Das) Noelmina, Timor Barat (Hal.92 – 105)

**VARIABILITAS SUHU DAN ARUS PADA LAPISAN TERMOKLIN
SELAT MAKASSAR DARI DATA *MOORING* INSTANT
(Juli 2005 – November 2006)**

Temperature and velocity variability in the thermocline layer of Makassar Strait from INSTANT Mooring data (July 2005 – November 2006)

Yuli Naulita

Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan,
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Email: naulita@ipb.ac.id

Abstrak

Data collected as part of the INSTANT program from July 2005 to November 2006 are analyzed to study the variability of temperature and velocity in thermocline layer of the Makassar Strait. Analysis of temperature time series of SBE-39 and current of ADCP long ranger75 KHz moored at Labani Channel, show the variability of temperature and velocity in the thermocline layer is highly related to semi-annual and annual variation while seasonal variation may influence indirectly. The main thermocline layer around 150 m is more dynamic compared to deeper layer (255 m) which showed by fluctuated-temperature profiles in time domain and also more energy fluctuations in frequency domain.

Key words: variability of temperature, current, thermocline layer, Makassar Strait

1. Pendahuluan

Selat Makassar adalah perairan yang sangat dinamis karena ada berbagai faktor yang mempengaruhinya, seperti Arus Lintas Indonesia (Arlindo) atau disebut juga *Indonesian Throughflow* (ITF), pasang surut yang kuat, *Osilasi Madden Jullian* (MJO), gelombang Kelvin dari Samudera Hindia dan gelombang Rossby dari Samudera Pasifik. Selat Makassar merupakan jalur masuk utama Arlindo, yang mengalirkan massa air termoklin Samudera Pasifik Utara ke dalam perairan internal Indonesia. Oleh karena itu, Arlindo sangat berperan dalam menentukan kekuatan aliran dan karakter massa air Selat Makassar. Susanto dan Gordon (2005) menemukan transpor maksimum di Selat Makassar terjadi pada lapisan termoklin (100-300 m) sedangkan massa air Pasifik yang ditemukan pada

lapisan termoklin Selat Makassar adalah *North Pacific Subtropical Water* (NPSW) (Wyrky, 1961; Field dan Gordon, 1992).

Disamping itu, Arlindo yang memiliki keragaman tinggi baik secara musiman maupun tahunan, menyebabkan variabilitas arus dan massa air Selat Makassar sangat besar. Keragaman musiman Arlindo berkaitan dengan adanya pergantian arah angin di Indonesia. Laju tertinggi ditemukan pada saat Muson Tenggara (Juni-Agustus), sedangkan aliran lintasan terendah pada muson barat laut (Desember-Februari).

Keragaman tahunan Arlindo berkaitan dengan fenomena ENSO yang mempengaruhi iklim dunia secara global (Gordon *et al.*, 1999). Field *et al.* (1999) menyatakan bahwa kedalaman lapisan termoklin Selat Makassar berubah dengan adanya variabilitas *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan dari hasil data XBT selama 15 tahun, Susanto *et al.* (2000) menemukan korelasi keduanya sebesar 0,77.

Susanto *et al.* (2000) juga mengemukakan bahwa dari data arus Selat Makassar ditemukan pengaruh dari pasang surut yang kuat dan variabilitas musiman dengan periode kurang dari 100 hari dan MJO dengan periode 35-55 hari. Menurut Kashino *et al.* (1999), variabilitas musiman dengan periode 50 – 60 hari mungkin berasal dari gelombang non-linier dari Mindanao dan Halmahera *Eddy* dan MJO.

Gelombang Kelvin mempengaruhi suhu dan arah arus di Selat Makassar. Kehadiran gelombang Kelvin akan menghangatkan massa air pada lapisan tertentu dengan pembalikan arah arus. Seperti telah diketahui, aliran massa air di Selat Makassar sepanjang tahun mengarah ke selatan. Arus ini disebabkan oleh kemiringan paras muka laut antara Samudera Pasifik dan Hindia tetapi pada musim pancaroba, ketika kejadian gelombang Kelvin, arah arus berubah ke utara dengan pengenduran aliran Arlindo (Sprintall *et al.*, 2000, Syamsudin *et al.*, 2004).

Gelombang Kelvin berasal dari fluktuasi atmosfer di Samudera Hindia masuk melalui Selat Lombok ditemukan dengan periode yang lebih panjang yaitu 60-100 hari sedangkan gelombang Rossby yang masuk melalui Laut Sulawesi dengan periode 40-60 hari. Gelombang Kelvin yang kecepatannya lebih tinggi dari pada gelombang Rossby melemah setelah melalui Selat Makassar sedangkan

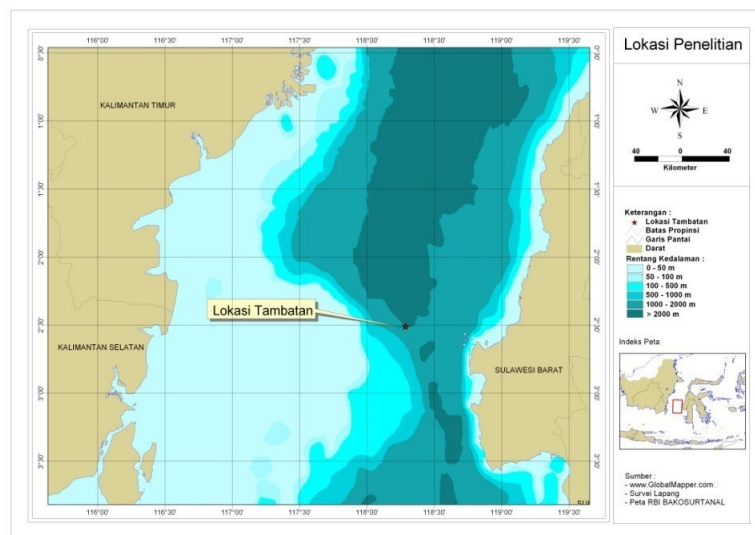
gelombang Rossby bergerak menuju timur melewati Laut Flores setelah melewati Selat Makassar (Susanto *et al.*, 2000).

Seluruh kajian keterkaitan antara kekuatan arus dengan karakter massa air di Selat Makassar ini, dalam hal ini suhu lapisan termoklin, mendasari bahasan tentang variabilitas arus dan suhu lapisan termoklin Selat Makassar dalam tulisan ini. Kajian dilakukan berdasarkan analisis deret waktu yang diperoleh dari data *mooring* INSTANT (*International Nusantara Stratification and Transport*) program selama satu setengah tahun, dari Juli 2005 sampai November 2006.

2. DATA DAN METODE

2.1. Data

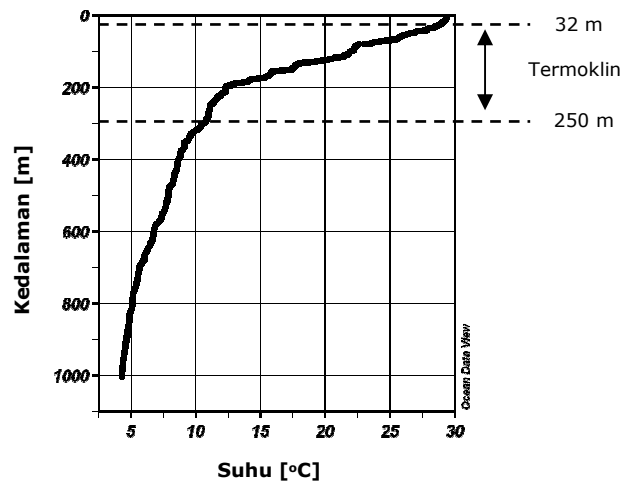
Data suhu dan arus yang digunakan dalam tulisan ini adalah data *mooring* program INSTANT tanggal 10 Juli 2004 sampai 27 November 2006, yang merupakan hasil kerjasama penelitian lima negara, yaitu Amerika, Perancis, Belanda, Australia dan Indonesia. Lokasi *mooring* terletak di Kanal Labani, Perairan Selat Makassar pada lintang $2^{\circ} 51' 888''$ LS dan bujur $118^{\circ} 27' 276''$ BT (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi *mooring* di Selat Makassar (INSTANT, 2006)

Data suhu direkam oleh termistor tipe SBE-39 sedangkan arus dari ADCP *Long Ranger* tipe 75 kHz. Gambar rangkaian *mooring* dapat dilihat pada

Lampiran 1. Dalam tulisan ini hanya digunakan dua kedalaman yaitu yang mewakili lapisan termoklin utama (150 m) dan lapisan bawah termoklin (244 m). Dari pengukuran CTD bulan Juli 2005 pada lokasi *mooring* diperoleh profil suhu Selat Makassar seperti yang disajikan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat lapisan termoklin Selat Makassar mulai dari kedalaman 30-an sampai 250 m.



Gambar 2. Profil menegak suhu di lokasi *mooring* INSTANT pada bulan Juli 2005 (INSTANT 2006).

Perekaman suhu dilakukan setiap 6 menit sedangkan arus setiap 30 menit. Pasang surut yang kuat menyebabkan posisi *mooring* terayun sejauh 125 m sehingga hasil pengukuran suhu tidak selalu berada pada kedalaman yang diinginkan. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi kedalaman sensor terhadap alat yang memiliki rekaman data tekanan yang baik. Dalam kasus ini dilakukan koreksi terhadap kedalaman ADCP dengan menggunakan metode interpolasi *pchip* pada *Matlab 7.0*. Untuk menghilangkan fluktuasi frekuensi tinggi dilakukan penapisan dengan menggunakan metode *low pass filter* dua hari.

Tampilan variasi temporal suhu dan arus dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Matlab 7.0*, *stick plot* arus dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Surfer 8.0*., sedangkan analisis spektral suhu dan arus dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Statistica 6*.

2.2. Analisis Deret Waktu

Untuk keperluan analisis spektrum, data suhu dan arus dibuat dalam interval waktu 1 jam dengan bantuan perangkat lunak MS *Excell* kemudian dilakukan penapisan dengan metode pembobotan *Lancos* (Emery dan Thomson, 1998) dengan bantuan perangkat lunak *Matlab 7.0.1*, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$w_k = \frac{f_c}{f_N} \frac{\sin(\pi k f_c / f_N)}{f_N \pi k f_c / f_N} \frac{\sin(\pi k / m)}{\pi k / m} \dots\dots\dots(1)$$

f_c adalah pemotongan frekuensi penapisan yakni 2 hari; dan f_N adalah frekuensi Nyquist.

Arus dipisahkan menjadi komponen zonal (timur-barat) dan meridional (utara-selatan) sedang suhu menggunakan nilai anomali, yang merupakan hasil dari selisih suhu hasil pengukuran dikurang dengan suhu rata-rata.

$$\Delta t = t' - \bar{t} \dots\dots\dots(2)$$

- Δt = anomali suhu
- t' = suhu pengukuran
- \bar{t} = rata-rata suhu

Perubahan domain waktu ke domain frekuensi menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) :

$$X(fk) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} X_n \exp((-i * 2\pi * k * n) / N) \dots\dots\dots(3)$$

Nilai densitas energi spektrum dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S_{xx}(fk) = (1 / (N * \Delta t)) \sum_{i=1}^N [X(fk)]^2 \dots\dots\dots(4)$$

- Dimana :
- $S_{xx}(fk)$ = fungsi spektrum pada frekuensi ke-k (fk)
 - $X(fk)$ = fungsi *Fast Fourier Transform* pada frekuensi ke-k (fk)
 - N = jumlah data
 - n = jumlah data setiap I data ($n= 1,2,3,4,5,\dots\dots\dots N-1$)
 - i = $\sqrt{-1}$ (bilangan imajiner)
 - fk = menunjukkan frekuensi ke-k ($1 \leq k \leq N$)

Δt = interval waktu pengamatan

Analisis spektrum dengan metode *Fast-Fourier Transformation* (Bendat dan Piersol, 1971) dilakukan untuk identifikasi skala proses yang berpengaruh terhadap suhu dan arus serta melihat keterkaitan antara keduanya melalui koherensi dan beda fase.

Uji koherensi merupakan uji lanjutan untuk membuktikan bahwa hasil korelasi silang dapat diterima. Perhitungan koherensi ini dilakukan pada data arus dan suhu pada kedalaman yang sama. Perhitungan koherensi dilakukan dengan menghitung dua set data dengan beda selang waktu tertentu dengan menggunakan rumus (Emery dan Thompson, 1998):

$$\gamma^2(f) = \frac{\left| \sum_{i=1}^n x_i(f)y_i(f) \right|^2}{\sum_{i=1}^n |x_i(f)|^2 \sum_{i=1}^n |y_i(f)|^2} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$$\sum_{i=1}^n |x_i(f)|^2 = \text{densitas spektrum energi dari X } (f_k)$$

$$\sum_{i=1}^n |y_i(f)|^2 = \text{densitas spektrum energi dari Y } (f_k)$$

Beda fase (*phase lag*) dihitung sebagai berikut :

$$\theta_{xy}(f_k) = \tan^{-1} \left[\frac{Q_{xy}(f_k)}{C_{xy}(f_k)} \right] \dots\dots\dots (6) Q_{xy}(f_k)$$

dan $C_{xy}(f_k)$ masing-masing adalah bagian imajiner dan nyata adari $S_{xy}(f_k)$.

Satuan beda fase ini dapat diubah dari derajat ($^{\circ}$) menjadi jam dengan membagi nilai derajat dengan 360° lalu dikalikan periode (dalam jam) dari fluktuasi tersebut.

Beberapa pilihan yang dilakukan dalam proses analisis spektrum adalah sebagai berikut:

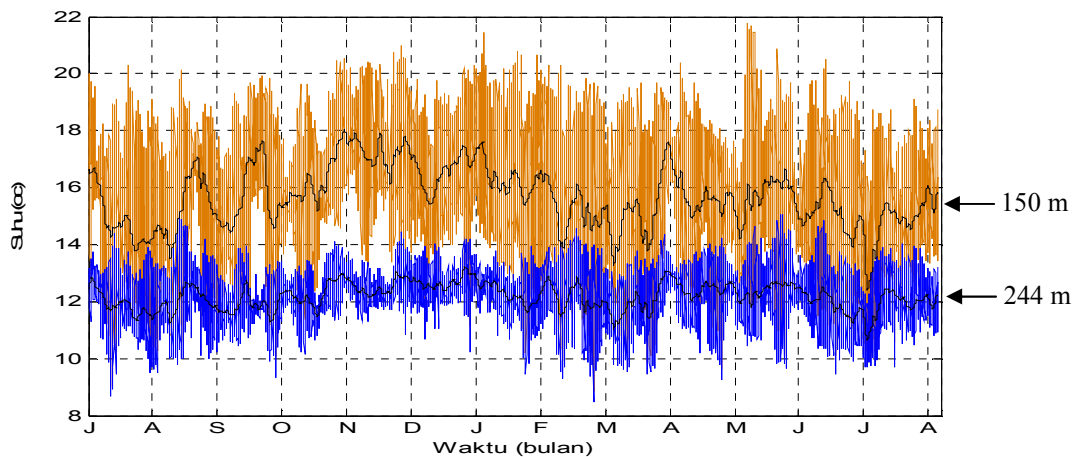
1. *Truncate* dilakukan pada 8091

2. *Window* yang digunakan adalah *Hamming*, yang tersedia dalam *Statistica* dengan jumlah data dalam *windowing* = 5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

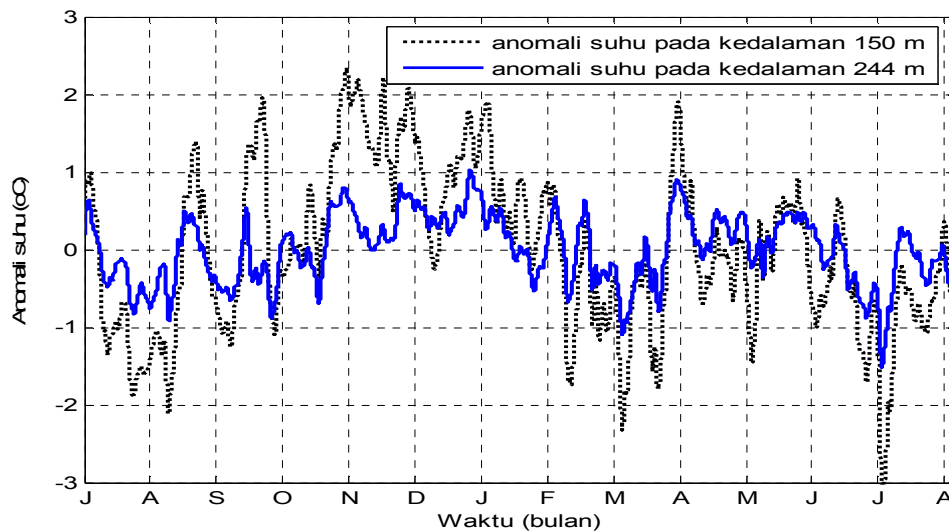
3.1. Variabilitas suhu dan arus di Selat Makassar

Variabilitas suhu pada kedalaman 150 m dan 244 m di S. Makassar disajikan pada Gambar 3. Fluktuasi pada lapisan termoklin utama (150 m) dua kali lebih besar dari lapisan bawah termoklin (244 m). Hal ini tergambar dari nilai rata-rata pada lapisan 150 m sebesar 5,32 dengan simpangan baku sebesar 1,49, sedangkan rata-rata pada lapisan 244 m sebesar 2,29 dengan simpangan baku sebesar 0,59.



Gambar 3. Variabilitas suhu di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006 (garis hitam adalah suhu hasil penapisan 2 hari)

Untuk memperlihatkan lebih rinci variasi perubahan suhu pada lapisan termoklin Selat Makassar, disajikan anomali suhu pada lapisan 150 dan 244 m (Gambar 4). Dari Gambar 4 terlihat pada bulan Juli 2005 sampai pertengahan September 2005, anomali suhu bernilai negatif, kemudian terjadi kenaikan dan penurunan suhu dalam selang bulanan pada bulan September sampai November 2005. Pada akhir bulan November 2005 sampai awal Februari 2006, anomali suhu menjadi positif, kemudian terjadi kenaikan dan penurunan suhu kembali sampai pertengahan Juni 2006. Anomali suhu lapisan termoklin kemudian menjadi negatif sampai Agustus 2006.

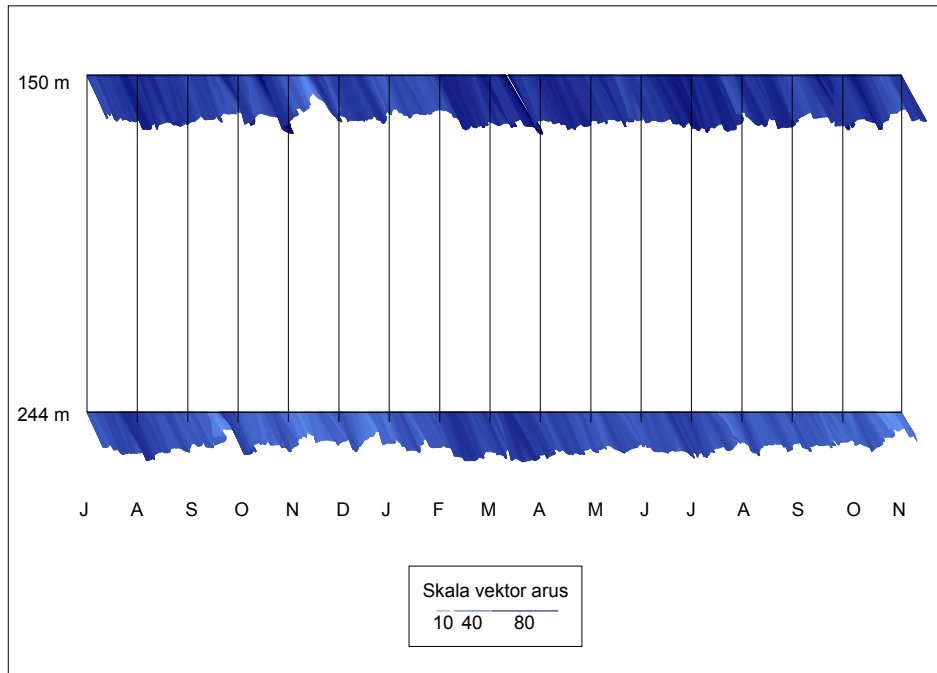


Gambar 4. Variabilitas anomali suhu pada lapisan termoklin Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

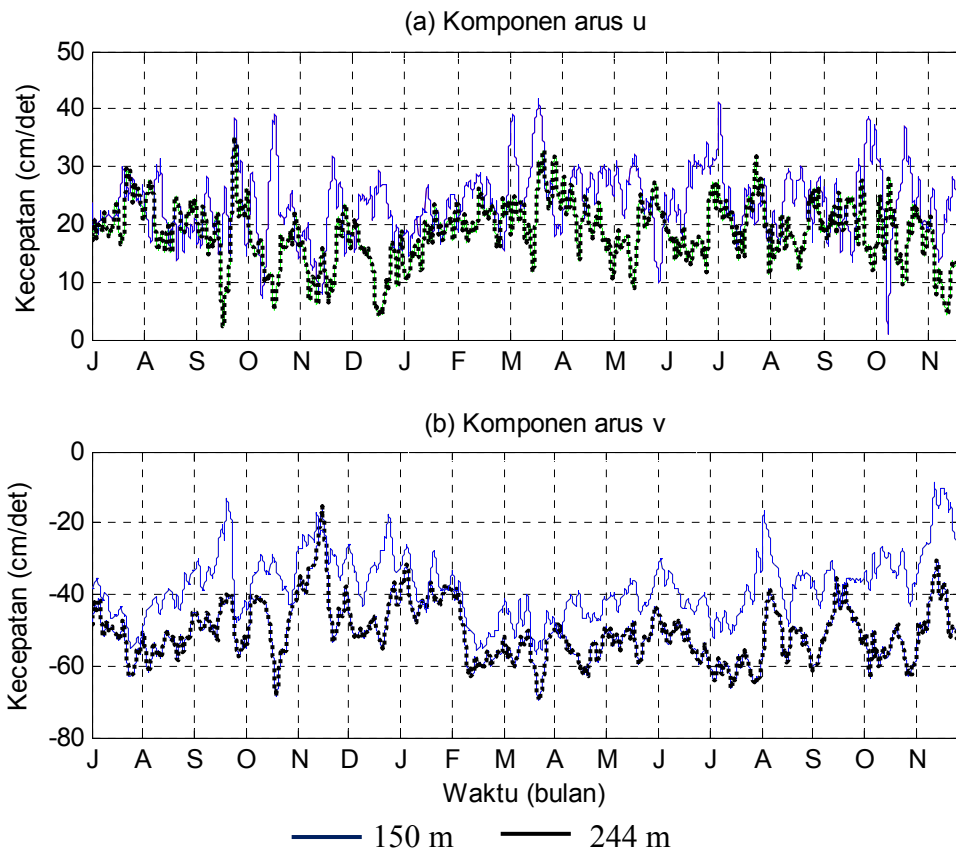
Variabilitas anomali suhu ini jelas terpengaruh oleh pola musiman, dimana pada musim timur cenderung negatif, pada pancaroba terjadi nilai negatif dan positif kemudian pada musim barat cenderung positif. Adanya penghangatan massa air lapisan termoklin pada musim barat dan pendinginan pada musim timur menandakan adanya dinamika massa air yang berbeda pada musim-musim ini.

Untuk mengetahui dinamika perairan Selat Makassar yang mempengaruhi variabilitas suhu ini, disajikan variasi arus pada kedalaman 150 dan 244 m pada Gambar 5. Pada gambar ini terlihat bahwa arah arus di Selat Makassar sepanjang tahun ke arah tenggara dengan kekuatan arus yang cukup besar. Kekuatan arus pada lapisan 150 m relatif lebih besar daripada lapisan 244 m. Kekuatan arus pada musim barat relatif lebih rendah dari musim-musim lainnya.

Variabilitas kecepatan arus dalam bentuk komponennya, yaitu arus zonal (u) dan meridional (v) disajikan Gambar 6. Pada gambar ini terlihat bahwa komponen kecepatan arus zonal dan meridional dan lapisan termoklin utama (150 m) dan lapisan termoklin bawah (244 m) memiliki pola fluktuasi yang hampir sama tetapi kekuatan arus meridional pada lapisan 244 m lebih kuat dari kedalaman 150 m.



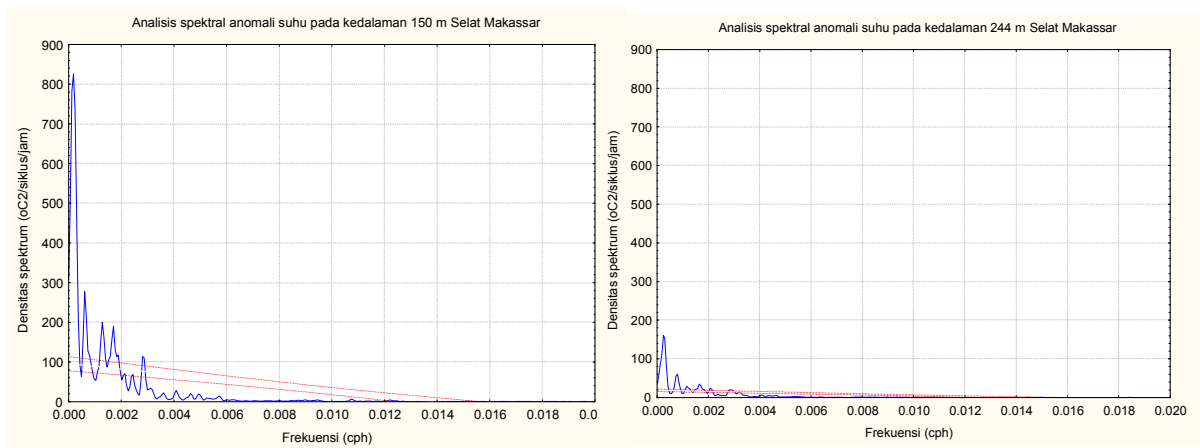
Gambar 5. *Stick plot* arus Selat Makassar pada kedalaman 150 dan 244 m selama Juli 2005 sampai November 2006



Gambar 6. Variabilitas komponen arus zonal u (a) dan meridional v (b) Selat Makassar selama bulan Juli 2005 sampai November 2006.

3.2. Spektrum densitas energi suhu dan arus Selat Makassar

Hasil spektrum densitas energi anomali suhu Selat Makassar pada kedalaman 150 dan 244 m disajikan pada Gambar 7. Spektrum densitas energi fluktuasi anomali suhu Selat Makassar menurun dengan penurunan kedalaman. Densitas energi pada lapisan 150 m jauh lebih besar dari lapisan 244 m. Fluktuasi periode dua bulanan (2,28 bulan), enam bulanan (5,69 bulan) dan tahunan (11,38 bulan) konsisten terdapat pada lapisan termoklin Selat Makassar.



Gambar 7. Spektrum anomali suhu pada kedalaman 150 m (kiri) dan 244 m (kanan) Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Periode berbagai fluktuasi anomali suhu lapisan termoklin Selat Makassar yang nyata pada taraf 95 % serta densitas energinya disajikan pada Tabel 1. Pada kedalaman 150 m juga terlihat adanya fluktuasi periode delapan bulanan (7,59 bulan) dan bulanan (0,81 bulan). Jika diamati pada Gambar 4, fluktuasi periode enam bulanan terlihat terjadi antara penurunan suhu pada bulan Agustus dan bulan Februari, sedangkan periode fluktuasi bulanan terjadi masa musim pancaroba dimana anomali suhu positif dan negatif berulang dalam selang satu bulanan.

Yang menarik adalah perubahan anomali suhu yang terlihat jelas mengikuti musim dalam domain waktu, tidak terlihat energi spektrumnya dalam domain frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan musim yang berkaitan dengan sistem angin muson, kemungkinan tidak berkaitan langsung dengan kondisi suhu dan arus pada lapisan termoklin mengingat kedalamannya sudah cukup jauh dari permukaan (150 – 244 m).

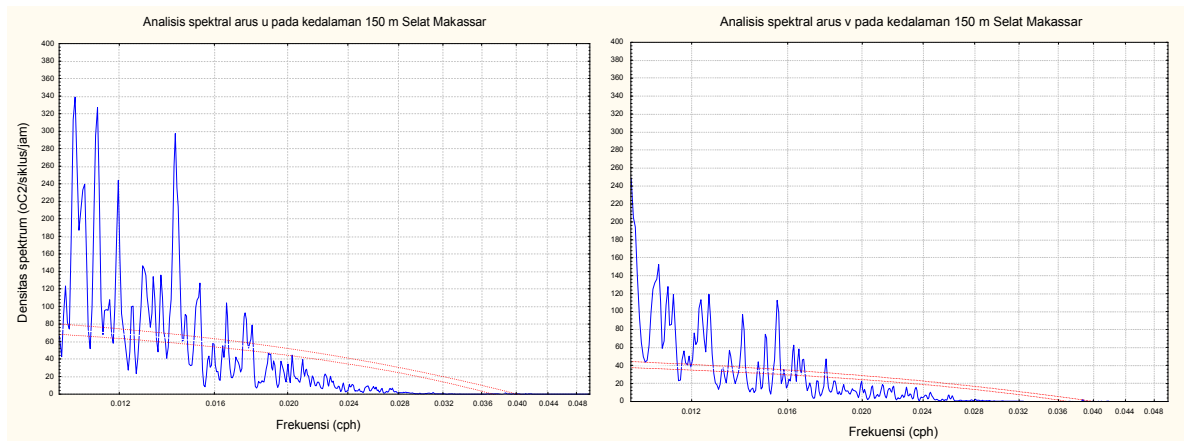
Tabel 1. Periode dominan dan densitas energi fluktuasi anomali suhu Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Kedalaman (m)	Frekuensi	Perioda	Densitas spektrum	Keterangan
150	0.0002	5,461.3333	825.8143	delapan bulanan
	0.0001	8,192.0000	782.3674	<i>tahunan</i>
	0.0002	4,096.0000	733.3247	<i>enam bulanan</i>
	0.0001	1638.4	504.0834	<i>dua bulanan</i>
	0.0006	1,638.4000	277.0753	bulanan
244	0.0002	4,096.0000	160.0645	<i>enam bulanan</i>
	0.0001	8,192.0000	86.2484	<i>tahunan</i>
	0.0008	1,260.3077	60.4299	<i>dua bulanan</i>

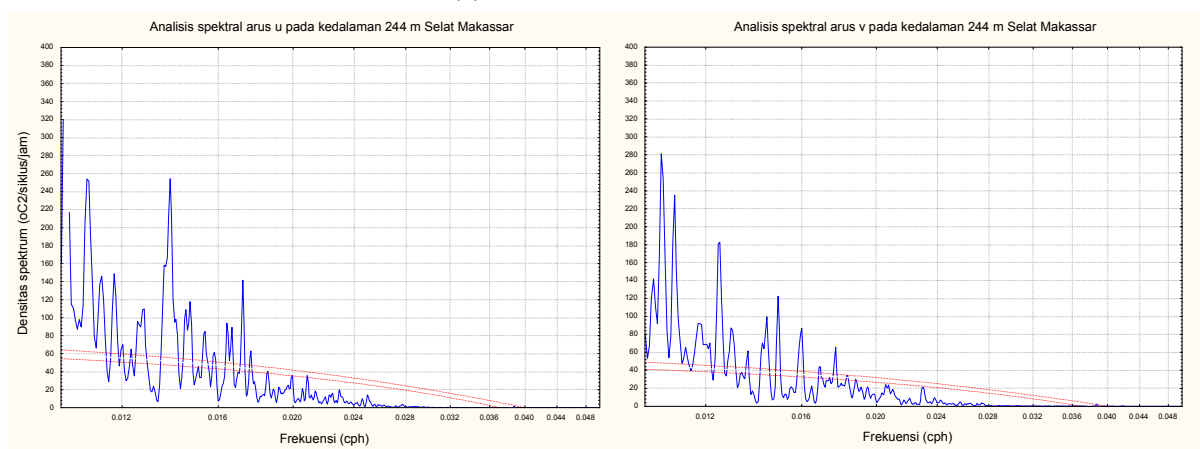
Besar energi periode dominan pada lapisan 150 m hampir sama sedangkan energi fluktuasi periode terbesar pada lapisan 244 m adalah enam bulanan. Periode dua bulanan kemungkinan adanya pengaruh gelombang Kelvin yang berasal dari Samudera Hindia dengan periode 60 – 100 hari, osilasi tropis antar musiman *Madden Julian Oscillation* (MJO) dengan periode 30 – 60 hari, dan gelombang Rossby yang berasal dari Samudera Pasifik dengan periode 40 – 60 hari (Susanto *et al*, 2000). Adanya tumpang tindih kisaran selang bawah dan atas pada berbagai gelombang ini menyulitkan dalam interpretasi penyebab fluktuasi suhu dengan periode 60 hari atau 2 bulanan.

Spektrum energi arus komponen u dan v disajikan pada Gambar 8. Hasil analisis spektrum pada komponen arus memperlihatkan densitas energi pada komponen zonal pada lapisan 150 m lebih besar dari arus meridional. Pada lapisan 244 m, keduanya memiliki besar energi yang hampir sama. Demikian pula densitas energi kedua komponen arus ini tidak berbeda pada kedua lapisan kedalaman. Periode yang dominan dan densitas energi arus zonal disajikan pada Tabel 2 sedangkan arus meridional pada Tabel 3.

Sama seperti yang ditunjukkan oleh spektrum energi anomali suhu, spektrum energi komponen arus u dan v juga menunjukkan adanya fluktuasi periode enam bulanan (5,69 bulan) dan tahunan (11,38 bulan), disamping adanya fluktuasi periode bulanan (0,99 – 1,2 bulan). Periode delapan bulanan kembali ditemukan pada spektrum energi arus zonal pada kedalaman 150 m dan periode dua bulanan pada kedalaman 244 m.



(a) Kedalaman 150 m



(b) Kedalaman 244 m

Gambar 8. Spektrum energi komponen arus u (kiri) dan v (kanan) pada kedalaman 150 m (atas) dan 244 m (bawah) di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Tabel 2. Periode dominan dan densitas energi komponen arus zonal Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Kedalaman (m)	Frekuensi	Perioda	Densitas spektrum	Keterangan
150	0.0002	5,461.3333	22,595.2725	delapan bulanan
	0.0001	8,192.0000	20,798.9569	<i>tahunan</i>
	0.0002	4,096.0000	19,352.5203	<i>enam bulanan</i>
	0.0014	712.3478	13,505.8973	<i>bulanan</i>
244	0.0001	8,192.0000	139,607.6172	<i>tahunan</i>
	0.0002	4,096.0000	51,779.4556	<i>enam bulanan</i>
	0.0012	862.3158	25,480.9978	<i>bulanan</i>
	0.0008	1,260.3077	20,753.1711	dua bulanan

Pada spektrum energi komponen arus v, periode tahunan (11,38 bulan) dan dua bulanan (1,63-2,07 bulan) kembali terlihat konsisten pada kedua lapisan kedalaman termoklin Selat Makassar (Tabel 3). Hal berbeda yang ditunjukkan oleh spektrum energi arus meridional adalah adanya fluktuasi periode dua mingguan pada kedalaman 150 m. Periode dua mingguan merupakan pengaruh pasang surut *fornightly* yang sangat kuat di dalam Selat Makassar (Susanto *et al*, 2000).

Tabel 3. Periode dominan dan densitas energi komponen arus meridional Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

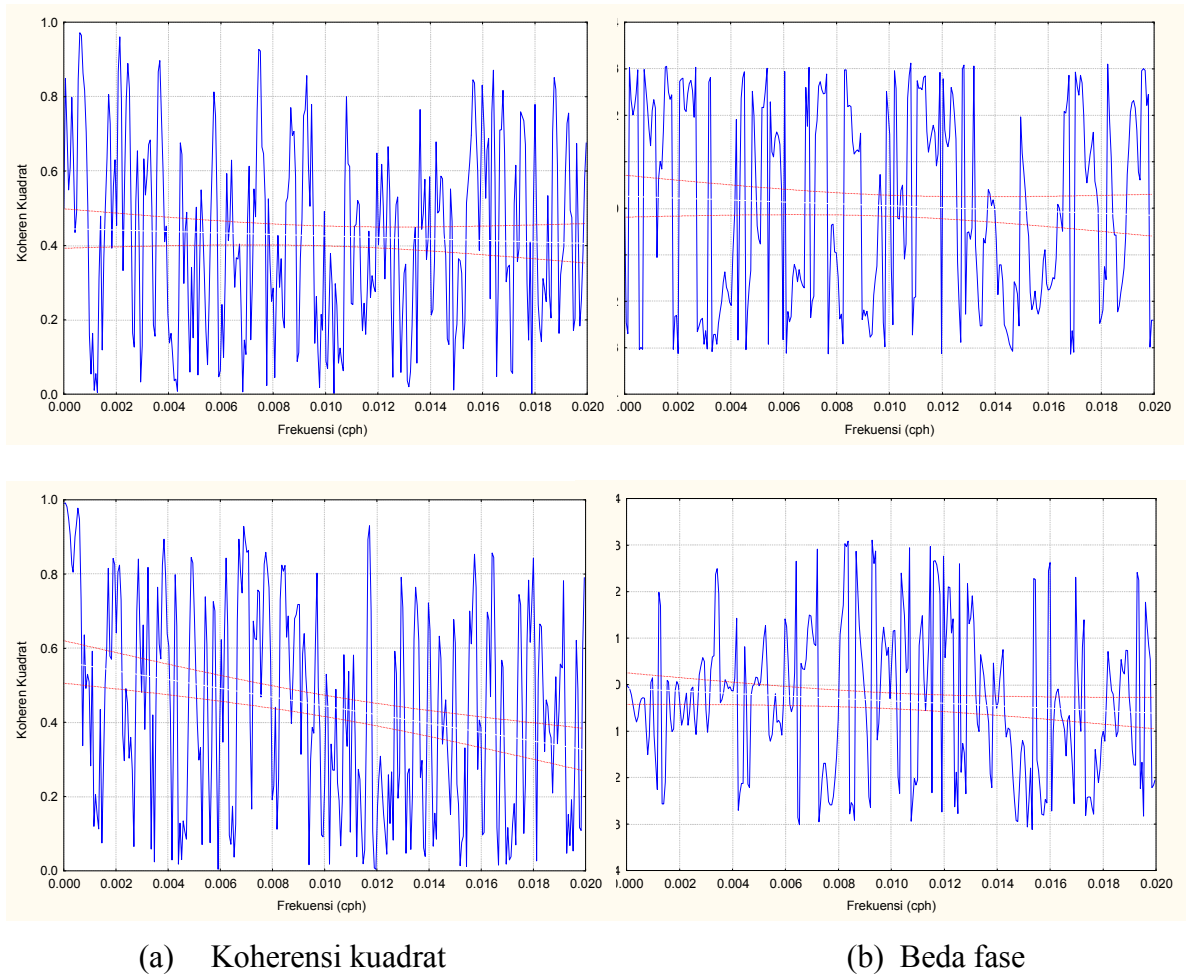
Kedalaman (m)	Frekuensi	Periode	Densitas spektrum	Keterangan
150	0.000793	1,260.3077	13,921.6298	dua bulanan
	0.002380	420.1026	11,152.3782	dua mingguan
	0.000122	8,192.0000	10,857.6952	<i>tahunan</i>
244	0.000122	8,192.0000	58,828.7823	<i>tahunan</i>
	0.000610	1,638.4000	35,300.6339	dua bulanan
	0.000244	4,096.0000	29,604.2048	<i>enam bulanan</i>

Jadi secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa suhu dan arus di Selat Makassar sangat dipengaruhi oleh perubahan enam bulanan dan tahunan. Pengaruh periode delapan bulanan hanya ditemukan pada kedalaman termoklin utama (150 m). Pengaruh periode yang lebih pendek seperti dua bulanan, bulanan dan dua mingguan tidak konsisten ditemukan pada dua lapisan kedalaman termoklin Selat Makassar.

Lapisan utama termoklin Selat Makassar mempunyai jumlah fluktuasi energi yang lebih besar dari lapisan bawah (244 m) sehingga lapisan ini jauh lebih dinamis seperti yang terlihat pada variabilitas suhu dan arus dalam domain waktu.

3.3. Spektrum silang suhu dan arus Selat Makassar

Hasil spektrum silang fluktuasi anomali suhu dan arus pada kedalaman 150 disajikan pada Gambar 9. Berbagai periode fluktuasi yang berkorelasi baik (koherensi kuadratnya pada taraf 95 % tergolong nyata) untuk komponen zonal dan meridional disajikan pada Tabel 4.



Gambar 9. Koherensi dan beda fase komponen u (atas) dan komponen v (bawah) dengan anomali suhu pada kedalaman 150 m di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Tabel 4. Koherensi dan beda fase antara komponen arus zonal dan meridional dengan anomali suhu pada kedalaman 150 m di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Frekuensi	Perioda	Koherensi Kuadrat	Beda fase (arch tan)	Beda fase (Jam)	Keterangan
Arus u (zonal)					
0.0006	1,638.4000	0.9719	-2.9937	-5.6817	dua bulanan
0.0001	8,192.0000	0.7059	-2.6957	-27.6610	tahunan
Arus v (meridional)					
0.0001	8,192.0000	0.9808	-0.0905	-2.0547	tahunan
0.0002	4,096.0000	0.9050	-0.4268	-4.5896	6 bulanan
0.0002	5,461.3333	0.9497	-0.2177	-3.2522	8 bulanan
0.0006	1,638.4000	0.9478	-0.2783	-1.2354	2 bulanan

Secara umum terlihat korelasi yang erat antara arus dan suhu pada periode yang densitas energinya nyata seperti yang diuraikan sebelumnya. Spektrum silang menunjukkan adanya koherensi yang cukup kuat antara arus zonal dengan anomali suhu pada periode dua bulanan dan tahunan pada kedalaman 150 m di Selat Makassar. Untuk koherensi anomali suhu dan arus meridional, selain kedua dengan kedua periode ini, juga terlihat adanya koherensi yang cukup besar dengan periode enam bulanan dan delapan bulanan. Pada semua bentuk korelasi ini ditemukan beda fase yang bernilai negatif, yang artinya perubahan suhu mendahului perubahan arus. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang ada karena seharusnya suhu yang dipengaruhi oleh arus.

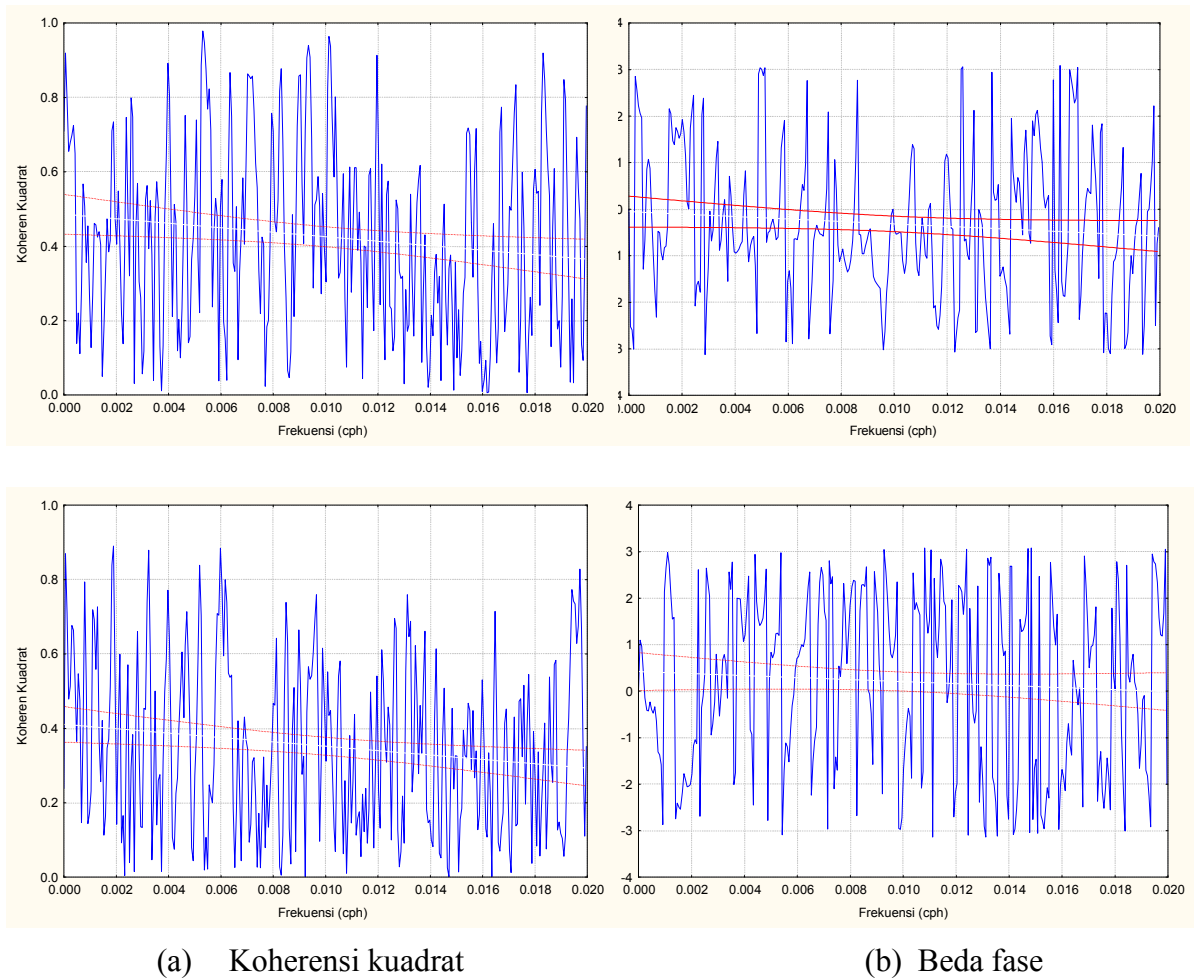
Koherensi dan beda fase antara arus dan suhu pada kedalaman 244 m disajikan pada Gambar 10 serta nilai koherensi dan beda fasenya disajikan pada Tabel 5. Pada lapisan 244 m, koherensi terbesar antara suhu dan arus ditemukan pada periode tahunan tetapi nilai koherensi kuadrat pada kedalaman ini lebih kecil dari kedalaman 150 m. Periode lain yang terlihat berkorelasi cukup baik adalah delapan bulanan, enam bulanan, lima dan empat bulan, serta periode bulanan.

Beda fase arus meridional dengan anomali suhu pada kedalaman 244 m, bernilai positif sebesar 17,5 jam. Artinya pada fluktuasi periode tahunan, perubahan kecepatan arus meridional akan diikuti oleh perubahan suhu 17,5 jam kemudian.

4. KESIMPULAN

Anomali suhu pada lapisan termoklin Selat Makassar mengikuti pola musiman tetapi fluktuasi energi musiman tidak terlihat dalam analisis spektral sehingga dapat dikatakan bahwa perubahan musiman kemungkinan tidak berkaitan langsung dengan fluktuasi suhu dan arus di lapisan termoklin Selat Makassar.

Variabilitas suhu dan arus Selat Makassar sangat dipengaruhi oleh perubahan enam bulanan dan tahunan. Korelasi arus dan suhu oleh kedua periode ini juga cukup kuat terutama pada lapisan utama termoklin (150 m). Variabilitas lapisan utama termoklin Selat Makassar (150 m) lebih kompleks daripada lapisan



Gambar 10. Koherensi dan beda fase komponen u (atas) dan komponen v (bawah) dengan anomali suhu pada kedalaman 244 m di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Tabel 5. Koherensi dan beda fase antara komponen arus zonal dengan anomali suhu pada kedalaman 244 m di Selat Makassar selama Juli 2005 sampai Agustus 2006

Frekuensi	Perioda	Koherensi Kuadrat	Beda fase (arch tan)	Beda fase (Jam)	Keterangan
Arus u (zonal)					
0.0002	4,096.0000	0.6795	2.8536	14.0372	6 bulanan
0.0002	5,461.3333	0.6549	-3.0110	-18.9651	8 bulanan
0.0001	8,192.0000	0.7937	-2.5952	-27.3750	tahunan
0.0003	3,276.8000	0.6980	2.5654	10.9146	5 bulanan
Arus v (meridional)					
0.0001	8,192.0000	0.7087	0.9692	17.5157	tahunan
0.0004	2,730.6667	0.6640	-0.4221	-3.0298	4 bulanan
0.0012	862.3158	0.6927	2.7148	2.9172	bulanan

bawah termoklin (244m), dimana juga ditemukan adanya variabilitas suhu dan arus intraseasonal (bulan dan dua bulanan) serta delapan bulanan. Di lapisan utama termoklin ini juga ditemukan periode yang lebih pendek (2 mingguan) yang kemungkinan berkaitan dengan pasut *fortnightly* pada variasi arus meridional.

DAFTAR PUSTAKA

- Bendat, J. S. and A. G. Piersol. 1971. Random Data Analysis and Measurement Procedures. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Emery, W. J. dan R. E. Thomson. 1998. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. Pergamon Press.
- Ffield, A. dan A. Gordon. 1992. Vertical mixing on the Indonesian Thermocline, J. Physics Oceanography., 22: 184-195.
- Gordon, A.L., R.D. Susanto, and A.L. Ffield. 1999. Throughflow within Makassar Strait, Geophys. Res. Lett., 26, 3325-3328.
- Kashino, Y., H. Watanabe, B. Herunadi, M. Aoyama, and D. Hartoyo. 1999. current Variability at the Pacific entrance of the Indonesian Throughflow. J. Geophys. Res. 104. 11021-11035.
- Susanto, R.D., A. L. Gordon, J. Sprintall, and B. Herunadi. 2000. Intraseasonal Variability and Tides in Makassar Strait. J. Geophys. Res. 27 (10):1499-1502
- Susanto, R.D. and A. L. Gordon. 2005. Velocity and Transport of the Makassar Strait Throughflow. J. Geophys. Res. 110, C01005.
- Sprintall, J., A. L. Gordon, S. Wuffels, A. Ffield, dan R. Molcard. 2004. INSTANT; A New International array to Measure the Indonesian Throughflow. EOS 85(39). 369-376.
- Syamsudin, F, A. Kaneko dan D.B. Haidvogel. 2004. Numerical and Observational estimates of Indian Ocean Kelvin wave intrusion into Lombok Strait. Geophysical Res. Letter, vol 31, L24407.
- Wyrtki, K. 1961. Physical Oceanography of The Southeast Asian Water. NAGA Report Vol 2. Scripps Inst. Oceanography. The University of California. La Jolla, California.

Lampiran 1. Rangkaian *mooring* INSTANT Selat Makassar

