

VARIASI MUKA LAUT DAN ARUS GEOSTROFIK PERMUKAAN PERAIRAN SELAT SUNDA BERDASARKAN DATA PASUT DAN ANGIN TAHUN 2008

SEA LEVEL VARIATION AND GEOSTROPHIC CURRENT OF THE SUNDA STRAIT BASED ON TIDAL AND WIND DATA IN YEAR 2008

Resni Oktavia¹, John Iskandar Pariwono², dan Parluhutan Manurung³

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB, resnioktavia@gmail.com

²Program Studi Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, IPB

³Pusat Kelautan dan Kedirgantaraan, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional

ABSTRACT

Sea level variation from four tide-gauge data in the Sunda Strait, Indonesia, in the year 2008 has been studied by using Wavelet 1 D Daubechius 1 level 5 type and Fast Fourier Transform methods. The hourly sea level variation in April and November (representing transitional seasonal conditions) is approximately +0.49 m; whereas in January (representing Northwest Monsoon condition) and July (representing Southeast Monsoon condition) can reach up to -0.48 m. In 2008, sea level variation in the Sunda Strait is mainly influenced by the monsoon. Results from this study show that there are at least three phenomena of sea level variations in the Sunda Strait, namely (1) seasonal variation (periodicity between 4-6 months) where it is believed influenced by the Java Sea; (2) intra-seasonal (periodicity between 1-3 months), which is more influenced by the Indian Ocean; and (3) tidal forcing (periodicity between 14-17 days, suggesting fortnightly tidal forces) which propagates from the Indian Ocean into the Sunda Strait. Result from surface geostrophic approximation calculation suggests that during Southeast Monsoon (June-August), monthly mean current flows southwestwardly towards the Indian Ocean with a velocity of 0.14-0.16 m/s. Whereas during Northwest monsoon (December-February), current flows northeastwardly towards the Java Sea with a velocity of 0.14-0.17 m/s. Furthermore, on the daily time scale, tidal current in the Sunda Strait flows into the Java Sea (Indian Ocean) during high tide (low tide) with a velocity ranging from 0.51 to 0.72 m/s (0.48 to 0.51 m/s).

Keywords: sea level variation, geostrophic approximation, tides, monsoon, Sunda Strait

ABSTRAK

Variasi muka laut dari empat data *tide gauge* di perairan Selat Sunda tahun 2008 telah dipelajari menggunakan metode *Wavelet* 1D tipe Daubechius 1 level 5 dan *Fast Fourier Transform*. Variasi muka laut rata-rata jaman pada Musim Peralihan I (April) dan Musim Peralihan II (November) rata-rata mencapai +0,49 m, sedangkan pada Musim Barat (Januari) dan Musim Timur (Juli) rata-rata mencapai -0.48 m. Variasi muka laut di perairan Selat Sunda sepanjang tahun 2008, umumnya dipengaruhi oleh angin Muson. Perubahan muka laut Perairan Selat Sunda dari hasil analisis *Wavelet* memperlihatkan adanya fenomena (1) musiman (4-6 bulan) yang diduga dipengaruhi oleh Laut Jawa, (2) intra musiman (1-3 bulan) yang lebih dipengaruhi oleh Samudera Hindia dan (3) pasut dua mingguan (14-17 hari) yang merambat dari Samudera Hindia ke Selat Sunda. Dari pendekatan geostrofik hasil perhitungan menunjukkan bahwa selama Musim Timur (Juni-Agustus) arus rata-rata bulanan mengalir ke arah barat daya menuju Samudera Hindia dengan kecepatan antara 0,14-0,16 m/s, dan mengalir ke arah timur laut menuju Laut Jawa selama Musim Barat (Desember-Februari) dengan kecepatan antara 0,14-0,17 m/s. Selain itu, pada skala harian arus pasut di Selat Sunda mengalir menuju Laut Jawa (Samudera Hindia) pada saat muka laut pasang (muka laut surut) dengan kecepatan antara 0,51-0,72 m/s (0,48-0,51m/s).

Kata Kunci: variasi muka laut, pendekatan geostrofik, pasut, angin muson, Selat Sunda

I. PENDAHULUAN

Perairan Selat Sunda merupakan perairan yang menghubungkan Laut Jawa dengan Samudera Hindia. Pertukaran massa air antara Laut Jawa dengan Samudera Hindia yang melewati Selat Sunda mengalir ke arah yang berlawanan tergantung musimnya (Dishidros-AL, 1998 *in* Pariwono, 1999). Namun menurut Wrytki (1961), pertukaran massa air melalui Selat Sunda selalu bergerak ke arah Samudera Hindia sepanjang tahun, disebabkan adanya perbedaan tinggi muka laut antara Laut Jawa dan Samudera Hindia, sehingga pengaruh massa air dari Laut Jawa lebih dominan dibandingkan dengan Samudera Hindia.

Letak geografis perairan Selat Sunda yang berada pada sistem Angin Muson menyebabkan kondisi oseanografi di perairan ini dipengaruhi oleh sistem Angin Muson (Minarto *et al.*, 2008). Bagi dinamika perairan laut, angin yang bertiup di dekat permukaan laut dapat mempengaruhi tinggi muka laut terhadap muka laut rata-rata. Selain itu, angin yang bertiup di permukaan laut merupakan sumber energi utama penyebab terjadinya arus permukaan laut (Azis, 2006).

Selain itu, karakteristik perairan Selat Sunda yang sempit dan relatif dangkal di wilayah dekat Laut Jawa menyebabkan tingginya pengaruh arus pasut, karena adanya dinamika pasut yang menimbulkan perbedaan tekanan hidrostatis pada badan air, sehingga menimbulkan arus.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui variasi muka laut berdasarkan data pasut perairan Selat Sunda pada tahun 2008 dan faktor angin permukaan, serta menggambarkan pola arus geostrofik permukaan perairan Selat Sunda dari variasi muka laut yang direkam oleh alat pengukur pasang surut

(*tide gauge*). Manfaat dalam mengkaji arus selain dapat menggambarkan sistem peredaran massa air, juga dapat digunakan untuk keperluan pelayaran dan pembangunan di perairan Selat Sunda.

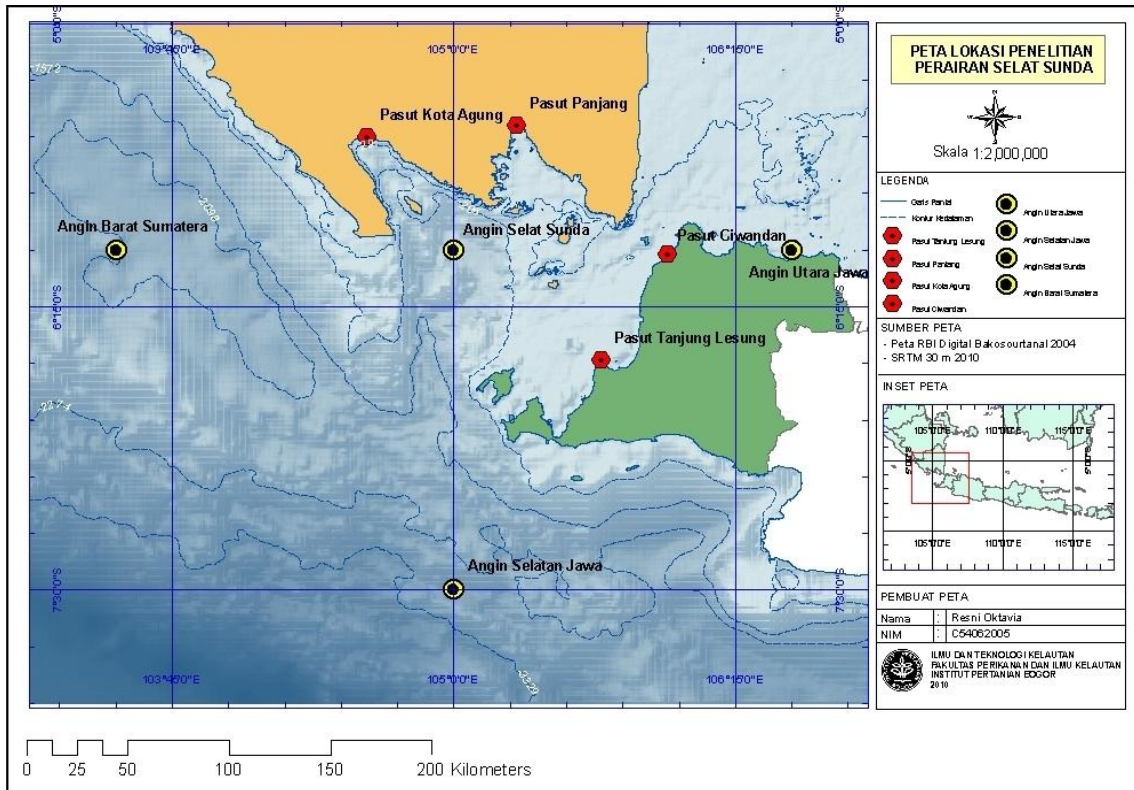
II. DATA DAN METODE

Daerah yang dijadikan objek pengamatan dalam penelitian ini adalah perairan Selat Sunda. Data yang digunakan meliputi data pasang surut bulan Januari 2008 sampai Februari 2009 hasil pengukuran dari empat stasiun pasang surut (Ciwandan, Panjang, Tanjung Lesung, dan Kota Agung) yang dioperasikan oleh Bakosurtanal, dan data angin tahun 2008 yang diperoleh dari situs *European Center For Medium Range Forecast* (ECMWF) di empat lokasi (Gambar 1), serta data pendukung berupa data tinggi muka laut tahun 2008 hasil perekaman satelit TOPEX/Jason yang diperoleh dari situs (<http://www.avisioceanobs.com/en/data/>)

Untuk melihat variabilitas muka laut, komponen angin, dan arus geostrofik permukaan berdasarkan frekuensi atau periode selama waktu pengamatan digunakan metode analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dan metode analisis *Wavelet*, melalui perhitungan nilai spektrum densitas energinya.

2.1. Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT)

Dengan menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* periodisitas fluktuasi muka laut dan angin yang signifikan dapat terlihat. Selain itu, hubungan antara perubahan muka laut di setiap stasiun dan hubungan antara fluktuasi muka laut dengan angin juga dapat terlihat melalui analisis spektrum korelasi silang yang terdiri dari spektrum densitas energi silang, koherensi kuadrat dan beda fase.



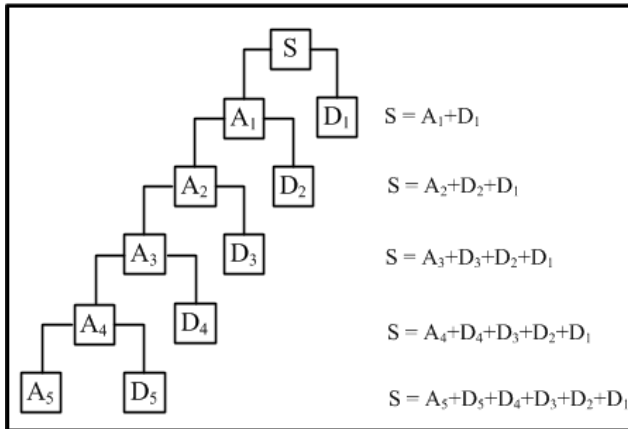
Gambar 1. Lokasi penelitian

2.2. Analisis Wavelet

Transformasi *wavelet* merupakan pengembangan dari transformasi *fourier*. Kelebihan dari analisis transformasi *Wavelet* yaitu mampu menganalisa data dalam domain waktu dan domain frekuensi secara simultan. Pola variasi muka laut dan arus geostrofik permukaan yang terjadi di setiap stasiun pengamatan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan metode *Wavelet* 1D tipe Daubechius 1 level 5. Berdasarkan fungsi *mother wavelet*, bahwa jenis wavelet daubechius 1 level 5 menggunakan tipe transformasi wavelet diskrit (*Discret Wavelet Transform*), dapat didefinisikan dalam persamaan:

$$f(t) = \sum_{j,k} a_{j,k} \psi_{j,k} \dots\dots\dots (1)$$

Transformasi *Wavelet* diskrit menganalisa data dengan membagi suatu sinyal ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berbeda-beda dan selanjutnya masing-masing komponen frekuensi tersebut dapat dianalisis sesuai dengan skala resolusinya. Hal ini seperti proses *filtering*, dimana sinyal asli (s) dalam domain waktu dilewatkan ke dalam *Low Pass Filter* (LPF) yang menghasilkan komponen aproksimasi (a), dan *High Pass Filter* (HPF) yang menghasilkan komponen detail (d). Komponen aproksimasi dan detail ini kemudian melewati proses dekomposisi wavelet (Gambar 2). Proses ini bertujuan untuk memperoleh banyak komponen dengan resolusi yang lebih rendah.



Sumber: Modifikasi dari The Math Works Inc. (2004)

Gambar 2. Proses multilevel dekomposisi wavelet

Keterangan :

- s: sinyal asli
- a (a1, a2, a3, a4 dan a5): komponen aproksimasi (komponen sinyal berfrekuensi rendah dan berskala tinggi)
- d (d1, d2, d3, d4 dan d5): komponen detail (komponen sinyal berfrekuensi tinggi dan berskala rendah)

Analisis mengenai variasi muka laut dan arus geostrofik permukaan dapat dilihat dari variabel a5 yang dihasilkan dari proses transformasi wavelet. Variabel a5 merupakan turunan terakhir dari induk wavelet daubechius 1 level 5.

- Ω : rotasi bumi ($\Omega = 7.29 \times 10^{-5}$ rad/det)
- θ : lintang
- $\Delta\zeta$: perbedaan tinggi muka laut (beda antara stasiun pengamatan)
- Δx : jarak antara stasiun pengamatan ($1^\circ = 111.12$ km)

2.3. Perolehan Arus Geostrofik Permukaan

Nilai Arus geostrofik diperoleh dari data beda tinggi muka laut (non-pasut dan pasut), yaitu selisih antara data tinggi muka laut pada dua stasiun yang terpisah dengan jarak sekitar 1° , jarak ini diambil dengan asumsi bahwa perbedaan tinggi muka laut dari satu stasiun sekitar 111.12 km ke stasiun lain masih signifikan. Dalam penelitian ini lokasi yang memiliki jarak sekitar 1° yaitu antara stasiun Panjang dengan Tanjung Lesung (PT) dan stasiun Kota Agung dengan Tanjung Lesung (KT).

Kecepatan arus geostrofik (v) dihitung menggunakan formula (Stewart, 2002):

$$V_s = \frac{gd\zeta}{fdx} \approx \frac{g}{f} \frac{\Delta\zeta}{\Delta x} \dots\dots\dots (2)$$

dimana

- g : percepatan gravitasi (diasumsikan konstan = $9,8 \text{ m/s}^2$)
- f : parameter Coriolis = $2\Omega \sin \theta$

Analisis sebaran horizontal data arus geostrofik dilakukan dengan mencari rata-rata kecepatan arus tiap bulannya selama satu tahun dan menentukan arah arus melalui kontur tinggi muka laut rata-rata di perairan Selat Sunda setiap bulannya.

2.4. Penentuan Tipe Pasang Surut

Tipe pasang surut suatu perairan dapat ditentukan oleh nisbah (perbandingan) antara amplitudo (tinggi gelombang) unsur-unsur pasut tunggal utama dengan amplitudo unsur-unsur pasang surut ganda utama (Wyrcki, 1961; Pariwono, 1999) Nisbah ini dikenal sebagai bilangan Formzahl yang mempunyai formula sebagai berikut:

$$F = \frac{A_{O1} + A_{K1}}{A_{M2} + A_{S2}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- F : bilangan Formzahl
- A_{O1} : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

- A_{K1} : amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan surya
 A_{M2} : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan
 A_{S2} : amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik surya

Dengan demikian jika nilai F berada antara :

- $< 0,25$: pasut bertipe ganda
 $0,25-1,50$: pasut bertipe campuran dengan tipe ganda yang menonjol
 $1,51-3,00$: pasut bertipe campuran dengan tipe tunggal yang menonjol
 $> 3,00$: pasut bertipe tunggal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Variasi Muka Laut

Variasi tinggi muka laut (non-pasut) rata-rata jam-an hasil analisis *Wavelet* di setiap stasiun pengamatan selama tahun 2008 disajikan pada Gambar 3, 4, 5, dan 6.

Secara umum (berdasarkan Gambar 3, 4, 5, dan 6) perubahan muka laut (variasi muka laut) yang terjadi di perairan Selat Sunda sepanjang tahun 2008 dari hasil analisis variabel a_5 (signal periode rendah) memperlihatkan adanya fenomena musiman (*seasonal*) 4-6 bulan, dimana tinggi muka laut mencapai dua kali maksimum dan dua kali minimum dalam setahun. Tinggi muka laut maksimum terjadi pada bulan April (Musim Peralihan I) dan November (Musim Peralihan II) dengan rata-rata tinggi mencapai +0,49 m, sedangkan tinggi muka laut minimum terjadi pada bulan Januari (Musim Barat) dan Juli

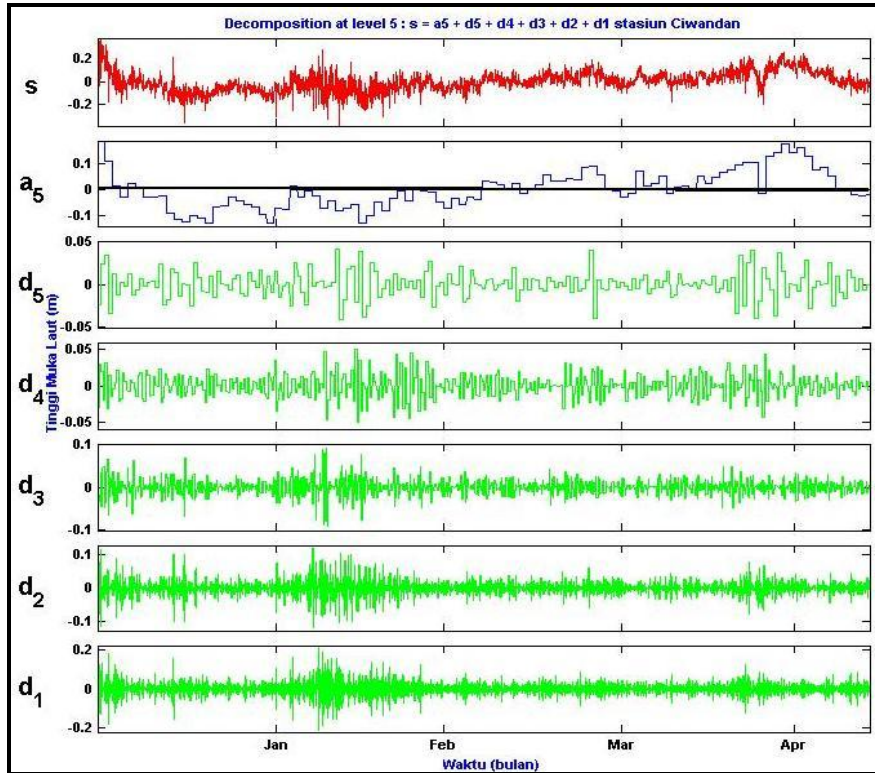
(Musim Timur) dengan rata-rata tinggi mencapai -0,48 m.

Pada stasiun Kota Agung (Gambar 5) tidak terlihat jelas fenomena musiman (*seasonal*) akibat adanya sela (*gap*) data, sehingga data yang ditampilkan hanya bulan Juli-Agustus dan November-Desember 2008.

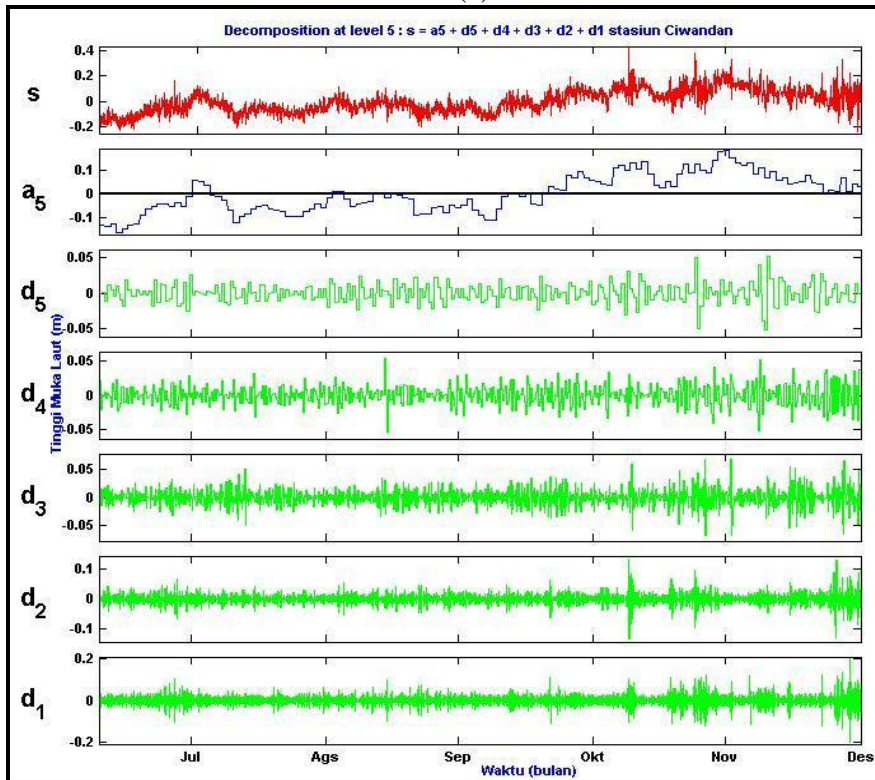
Terjadinya penurunan tinggi muka laut pada Musim Barat diduga berhubungan erat dengan perubahan muka laut di Laut Jawa. Pada musim ini tinggi muka laut di Laut Jawa relatif lebih rendah, akibat adanya arus yang mengalir ke timur selama Musim Barat berlangsung (Sakti, 2004). Wrytki (1961) menyatakan bahwa di Laut Jawa, arus yang berhimpit dengan sumbu hembusan angin selama Musim Barat dan membawa massa air meninggalkan Laut Jawa ke arah timur menyatu dengan massa air yang keluar lewat Selat Makasar dan mengalir ke arah timur sebagai arus yang kuat di sepanjang perairan utara Flores.

Penurunan muka laut pada Musim Timur diduga berhubungan dengan penurunan tinggi muka laut di perairan selatan Jawa, karena Arus Pantai Jawa (APJ) yang mengalir dari barat ke timur sepanjang pantai ini berangsur-angsur hilang, sehingga digantikan oleh Arus Khatulistiwa Selatan (AKS) (Sakti, 2004). Menurut Wrytki (1961), pada Musim Timur APJ sudah tidak terjadi lagi sehingga AKS menjadi dominan di wilayah perairan selatan Jawa dan bergerak ke barat. Arus ini diperkuat oleh angin Muson Tenggara dan akan membawa massa air dari pantai selatan Jawa menuju barat Samudera Hindia.

Purba (2007) juga mengatakan bahwa rendahnya muka laut di perairan selatan Jawa pada Musim Timur dapat disebabkan karena poros AKS mulai bergerak mendekati ke arah pantai sehingga ketika transport massa air (transport Ekman) yang menjauhi pantai (dan menghasilkan proses upwelling).

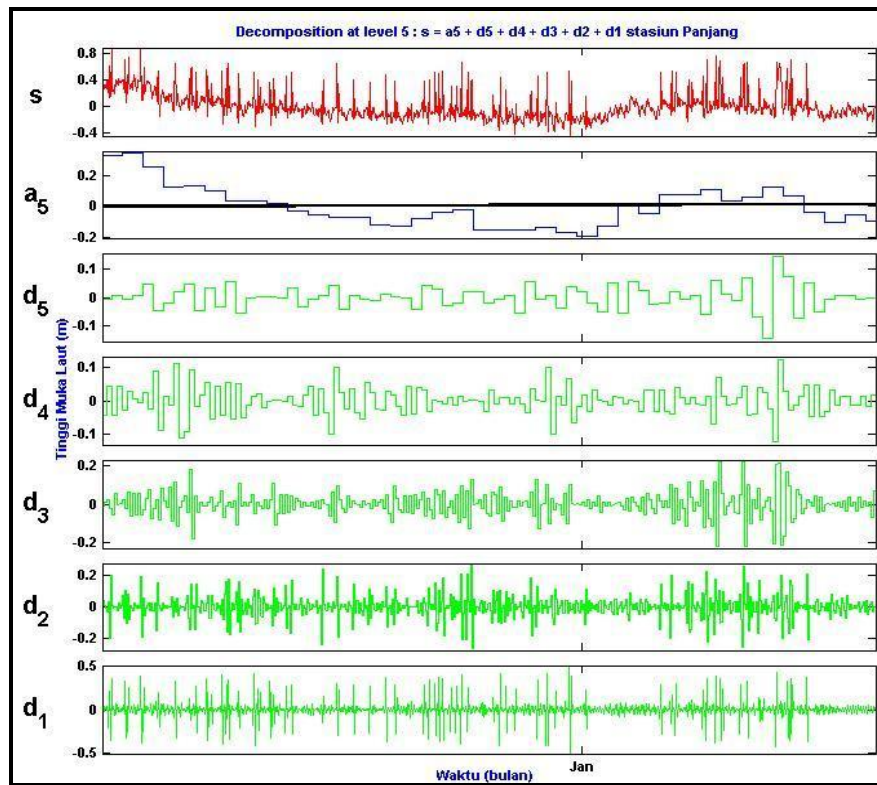


(a)

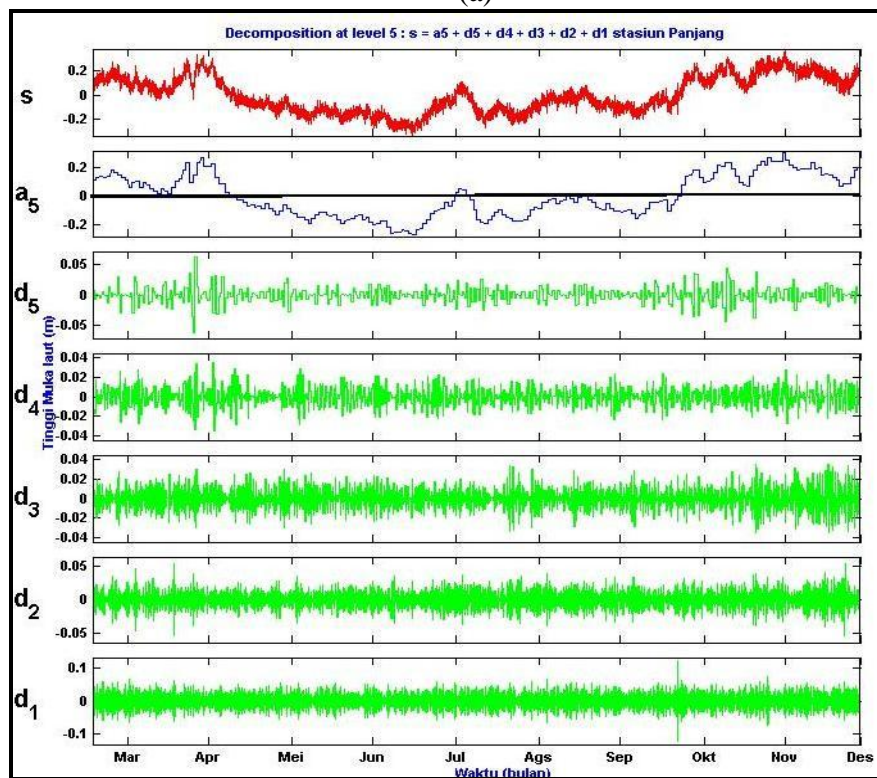


(b)

Gambar 3. Variasi muka laut di stasiun Ciwandan periode. (a) Januari-April 2008 dan (b) Juli-Desember 2008. (Arti dari simbol s , a_5 , d_5 , d_4 , d_3 , d_2 , d_1 disajikan dalam badan tulisan. Simbol yang sama digunakan pada gambar-gambar berikutnya yang serupa)

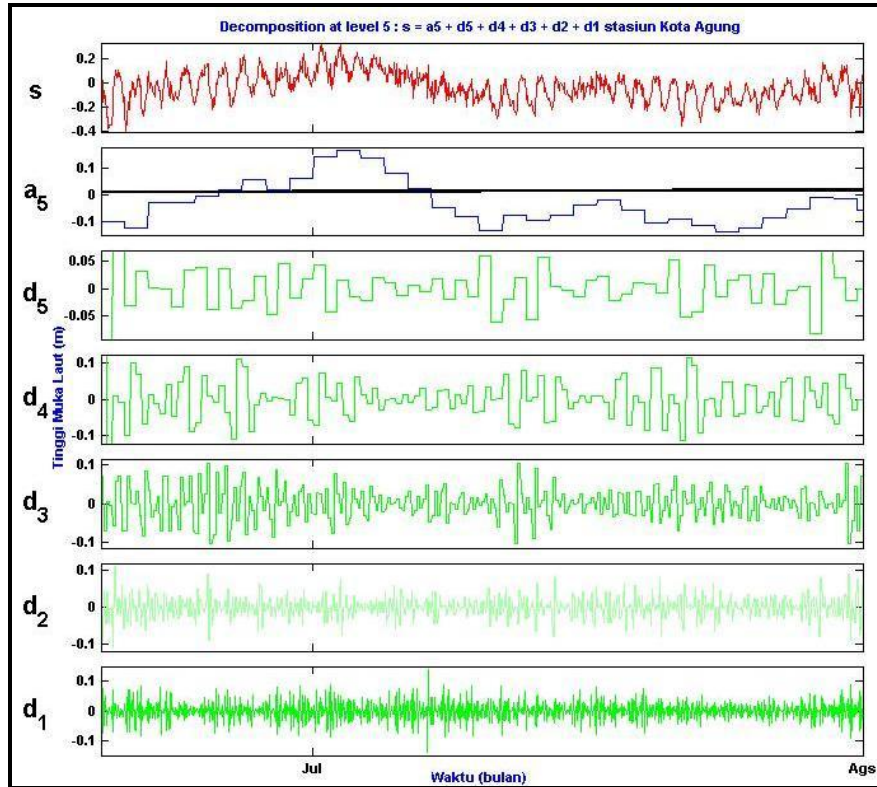


(a)

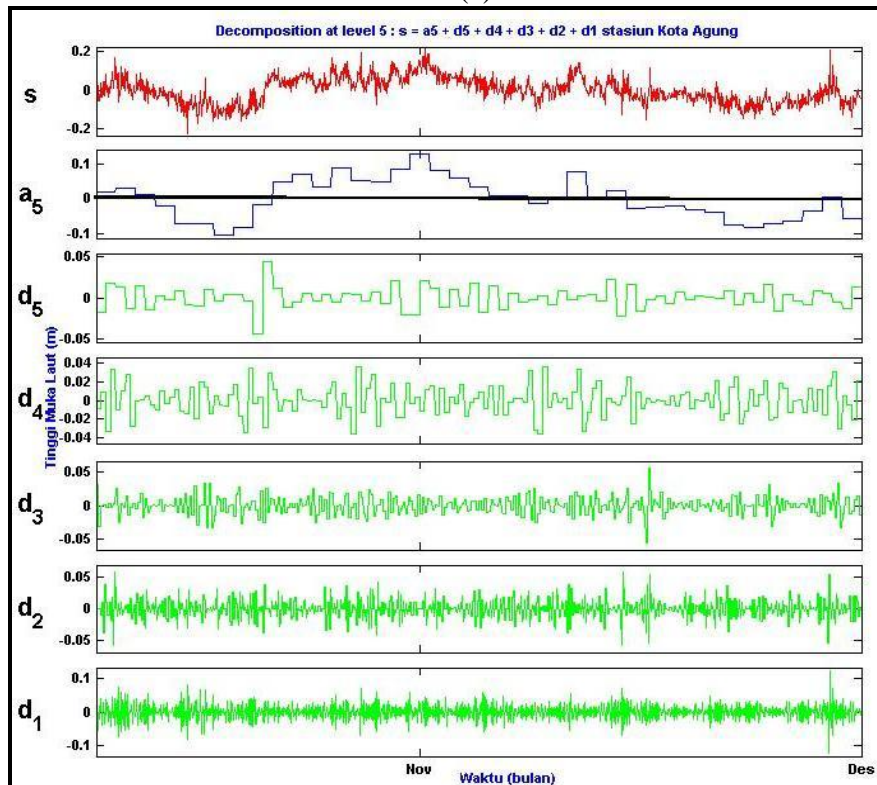


(b)

Gambar 4. Variasi muka laut di stasiun Panjang periode. (a) Januari-Februari 2008 dan (b) Maret-Desember 2008

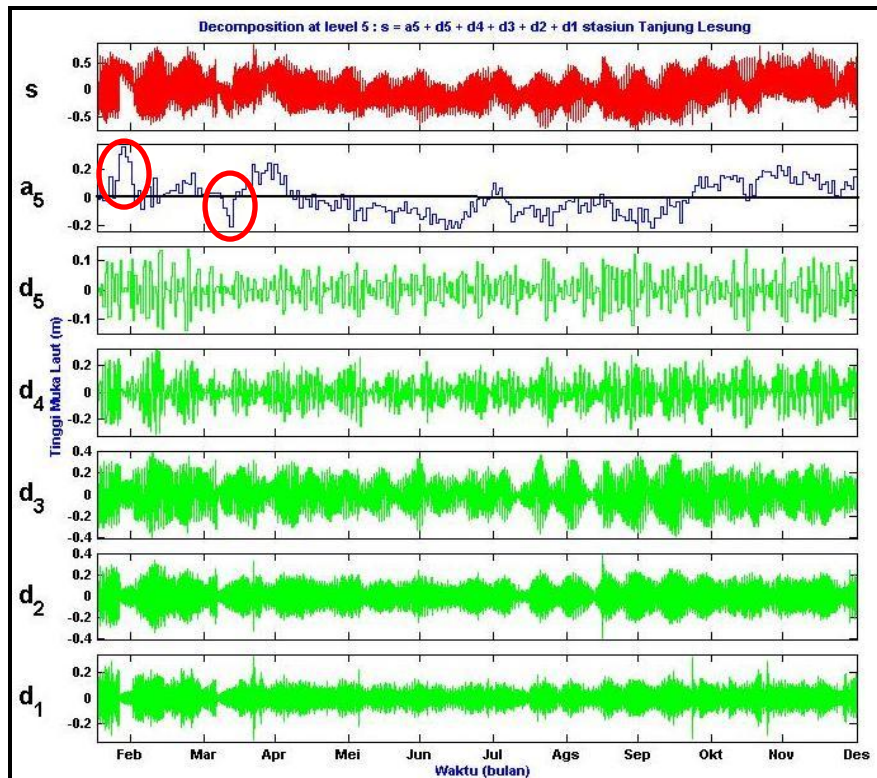


(a)



(b)

Gambar 5. Variasi muka laut di stasiun Kota Agung periode. (a) Juli-Agustus 2008 dan (b) November-Desember 2008



Gambar 6. Variasi muka laut di stasiun Tanjung Lesung periode Februari-Desember 2008. Lingkaran (warna merah) menunjukkan tinggi muka laut hasil interpolasi menggunakan data prediksi pasut pada selang waktu yang sama

Semakin kuat arus yang mengalir maka harus diimbangi dengan gradient tekanan tegak lurus pantai yang harus lebih kuat juga. Hal ini dicapai dengan muka laut yang lebih rendah di perairan dekat pantai.

Berdasarkan penelitian Susanto *et al* (2001), pada bulan Juni - Oktober di sepanjang pantai selatan Jawa terjadi proses *upwelling* yang dibangkitkan oleh Angin Muson Tenggara. Angin tersebut menyebabkan transpor massa air di lapisan permukaan ke arah selatan/barat daya, sebagai akibatnya terjadi kekosongan massa air di sisi pantai yang kemudian diisi oleh massa air yang lebih dingin dari lapisan bawah sehingga suhu permukaan laut (SPL) menjadi lebih dingin dan muka laut menjadi lebih rendah di sisi pantai.

Selain menggunakan analisis Wavelet variasi muka laut di perairan Selat Sunda juga di analisis menggunakan FFT, dimana hasil spektrum densitas energi dan periode fluktuasi muka laut di setiap stasiun disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 terdapat nilai spektrum densitas energi muka laut yang signifikan pada periode yang hampir sama. Periode fluktuasi dari sinyal yang signifikan ini mengindikasikan adanya beberapa fenomena seperti fenomena musiman (*seasonal*) 4-6 bulan. Fenomena musiman diperkirakan terjadi pada saat pergantian musim baik dari musim Barat menuju Musim Timur atau sebaliknya, maupun Musim Barat ke Musim Peralihan I dan Musim Timur ke Musim Peralihan II, sehingga menunjukkan adanya kekuatan musim.

Fenomena intra musiman (*intraseasonal*) 1-3 bulan yang diduga terjadi akibat pengaruh gelombang Kelvin dari Samudera Hindia. Menurut Sprintall *et al.* (2000) Gelombang Kelvin terbentuk akibat gangguan yang berasal dari Samudera Hindia. Gangguan tersebut berupa angin baratan (*westerly wind burst*) yang bertiup di bagian barat ekuator Samudera Hindia sekitar April-Mei dan Oktober–November. Gelombang ini menjalar di ekuator lalu mencapai Pulau Sumatera dalam waktu sekitar sebulan, dan rambatannya terpecah menjadi dua, ke utara dan selatan.

Rambatan gelombang Kelvin yang ke selatan ini yang diperkirakan menimbulkan fenomena intra musiman di perairan Selat Sunda.

Selain itu ditemukan pula fenomena pasut dua mingguan (*fortnightly*) dengan periode antara 14-17 hari yang menunjukkan adanya pengaruh rambatan pasut yang masuk dari Samudera Hindia ke Selat Sunda.

Perubahan muka laut di antara stasiun pengamatan memiliki hubungan yang sangat kuat (Tabel 2), hal ini ditunjukkan dengan nilai koherensi yang cukup tinggi berkisar 0.63-0.99 (mendekati 1). Beda fase yang terjadi pada saat periode musiman (4-6 bulan) bertanda positif, yang mengindikasikan bahwa perubahan muka laut terlebih dahulu terjadi di stasiun Ciwandan yang terhubung langsung dengan Laut Jawa, yang kemudian diikuti dengan perubahan muka laut di stasiun Panjang dan Tanjung Lesung setelah 1-4 hari. Namun beda fase pada saat periode intra musiman (1-3 bulan) dan pasut dua mingguan (14-17 hari) bertanda negatif dan sebagian positif, yang secara umum dapat diartikan bahwa perubahan muka laut terlebih dahulu terjadi di stasiun Tanjung Lesung yang terhubung langsung dengan Samudera Hindia, yang kemudian diikuti dengan perubahan muka laut di stasiun Ciwandan dan Kota Agung setelah 1-3 hari untuk periode intra-musiman dan 7-5 jam untuk periode pasut dua mingguan.

Tabel 1. Periode dan spektrum densitas energi muka laut di stasiun pengamatan

Stasiun	Selang Waktu	Periode (jam)	Spektrum Densitas Energi Signifikan [(m) ² / siklus / jam]	Keterangan
Ciwandan	(Jan-Mei)	402	0.75	16.8 hari
	(Jul-Des)	2048	1.28	2.8 bulan
		1024	0.89	1.4 bulan
		327.7	0.40	13.7 hari
Panjang	(Jan-Feb)	600	3,29	25 hari
	(Mar-Des)	4096	27.87	5.7 bulan
		2730.7	18,78	3.8 bulan
Kota Agung	(Jul-Ags)	368	4,39	15.3 hari
	(Nov-Des)	624	0,78	26 hari
Tanjung Lesung	(Feb-Des)	4096	14.05	5.7 bulan
		744.7	3.85	1 bulan

Tabel 2. Spektrum korelasi silang muka laut antar stasiun pengamatan

Korelasi stasiun	Selang Waktu	Periode	Spektrum Densitas Energi [(m) ² / siklus / jam]	Koherensi ²	Beda fase (tan ⁻¹)	Waktu (time lag)
Ciwandan - Panjang	(Jan - Feb) (Jul - Des)	25 hari	1.05	0.63	0.37	1.4 hari
		5.7 bulan	1.01	0.99	0.07	1.9 hari
	3.8 bulan	1.86	0.99	0.06	1 hari	
	1.4 bulan	1.40	0.97	0.09	14.5 jam	
	13.7 hari	0.45	0.99	-0.15	7.7 jam	
Ciwandan - Tanjung Lesung	(Feb-Mei) (Jul-Des)	29.3 hari	1.71	0.77	-0.002	0.22 jam
		5.7 bulan	1.00	0.98	0.15	4 hari
	3.8 bulan	1.89	0.99	0.08	1.4 hari	
	1.4 bulan	1.29	0.97	-0.02	3.1 jam	
	13.7 hari	0.45	0.99	-0.29	14.7 jam	
Ciwandan - Kota Agung	(Jul-Ags)	15 hari	0.57	0.26	0.26	17.2 jam
	(Nov-Des)	26 hari	0.54	0.88	-0.29	1.2 hari
Panjang - Kota Agung	(Jul-Ags)	15 hari	1.14	0.47	0.52	1.1 hari
	(Nov-Des)	25 hari	0.77	0.95	0.11	2.7 hari
Panjang - Tanjung Lesung	(Mar-Des)	16.7 hari	0.61	0.95	0.26	16.2 jam
		5.7 bulan	23.4	0.99	0.05	1.3 hari
Tanjung Lesung - Kota Agung	(Jul-Ags) (Nov-Des)	3.8 bulan	15.9	0.99	0.05	21.7 jam
		15 hari	0.90	0.51	0.67	1.4 hari
		26 hari	0.73	0.96	0.12	12.2 jam
		17.3 hari	0.58	0.96	0.21	13.7 jam

Dengan demikian dapat dikatakan perubahan muka laut di perairan Selat Sunda pada periode musiman lebih dipengaruhi oleh Laut Jawa, sedangkan pada saat periode intra musiman dan dua mingguan perubahan muka laut lebih dipengaruhi oleh Samudera Hindia.

Kondisi ini diperkirakan karena Laut Jawa didominasi oleh angin Muson dimana ketika musim timur massa air mengalir dari Laut Flores ke Laut Jawa, mengakibatkan adanya “penumpukan” massa air di perairan utara Jawa Barat. Sebagian dari massa air tersebut akan merembes keluar lewat Selat Sunda. Fenomena ini dirasakan di stasiun Ciwandan karena letaknya yang dekat dengan Laut Jawa. Akibatnya periode yang terekam di Ciwandan didominasi

oleh perubahan musiman. Periode intra musiman lebih dominan ditemui di Samudera Hindia dibanding dengan Laut Jawa, karena perairannya lebih dalam. Signal ini akan merambat masuk Selat Sunda dari mulut bagian selatan yang lebih lebar dan lebih dalam dibanding mulut bagian utara. Signal tersebut terekam oleh stasiun - stasiun yang letaknya lebih dekat ke Samudera Hindia, yaitu Kota Agung dan Tanjung Lesung.

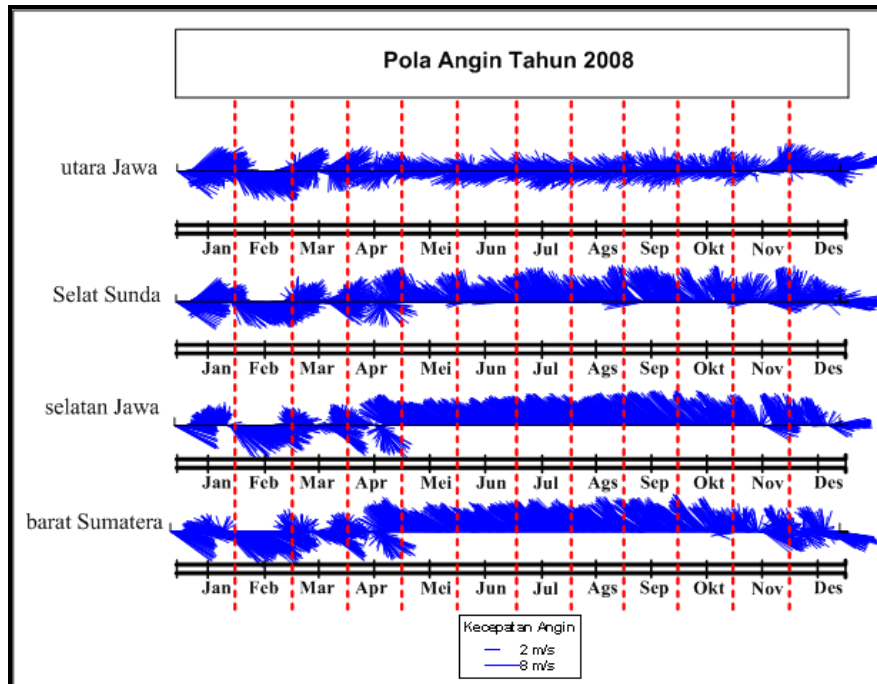
3.2. Variasi Angin Permukaan

Hasil analisis angin permukaan tahun 2008 di empat lokasi ditampilkan pada diagram *stick plot* arah dan kecepatan angin (Gambar 7).

Secara umum kondisi angin yang terjadi di stasiun pengamatan di

pengaruhi oleh Sistem Angin Muson, yang mengalami perubahan arah dua kali dalam setahun, yaitu Angin Muson Barat Laut yang bertiup dari barat laut menuju

tenggara, dan Angin Muson Tenggara yang bertiup dari tenggara menuju barat laut.



Gambar 7. Diagram *stick plot* arah dan kecepatan angin permukaan di stasiun pengamatan pada tahun 2008

Tabel 3. Periode dan spektrum densitas energi angin di stasiun pengamatan

Lokasi	Komponen	Periode (Jam)	Spektrum Densitas Energi [(m/s) ² / siklus / jam]	Keterangan (bulan)
utara Jawa	Zonal	8192	15819.22	11.4
		910.2	1750.58	1.3
Selat Sunda	Meridional	1489.5	651.27	2.1
		Zonal	8192	15420.23
selatan Jawa	Zonal	910.2	1523.31	1.3
		Meridional	1489.5	973.50
	Meridional	862.3	835.01	1.2
		Zonal	8192	33151.14
barat Sumatera	Zonal	910.2	3760.97	1.3
		Meridional	8192	6709.68
	Meridional	5461.3	5313.17	7.6
		Zonal	8192	32894.36
barat Sumatera	Zonal	910.2	2708.82	1.3
		Meridional	8192	10097.95
	Meridional	5461.3	7515.33	7.6

Berdasarkan analisis spektrum energi kecepatan angin permukaan komponen zonal dan komponen meridional (Tabel 3) memperlihatkan bahwa spektrum energi komponen zonal (timur-barat) lebih dominan dibandingkan dengan komponen meridional (utara-selatan). Dominasi komponen zonal diperkirakan berhubungan dengan dominasi angin Muson Barat Laut maupun angin Muson Tenggara yang bertiup di sekitar perairan Selat Sunda sepanjang tahunnya secara bergantian. Hal ini terlihat pada nilai spektrum densitas energi signifikan komponen zonal yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen meridional pada periode 11.4 bulan (tahunan) dan 1-3 bulan (intra musiman).

Perubahan arah dan kecepatan angin permukaan dapat mempengaruhi tinggi muka laut, sehingga dilakukan analisis spektrum korelasi silang antara komponen angin dengan tinggi muka laut di setiap stasiun (Lampiran 1, 2, 3, dan 4). Hasil analisis secara umum memperlihatkan bahwa perubahan arah dan kecepatan angin permukaan memiliki hubungan yang sangat erat dengan perubahan tinggi muka laut di perairan Selat Sunda. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koherensi yang relatif kuat, berkisar antara 0.63-0.86 dengan beda fase bernilai positif, yang menunjukkan bahwa kecepatan dan arah angin akan berubah terlebih dahulu yang kemudian diikuti dengan perubahan tinggi muka laut setelah 2 jam - 19 hari.

3.3. Variasi Arus Geostrofik Permukaan

Variasi beda tinggi muka laut (non-pasut) di perairan Selat Sunda ditelaah pada dua lokasi, yaitu antara stasiun Panjang dengan Tanjung Lesung (PT) dan antara stasiun Kota Agung dengan Tanjung Lesung (KT). Nilai beda tinggi muka laut ini digunakan untuk memperoleh kecepatan arus geostrofik

permukaan. Perlakuan yang serupa dilakukan antara stasiun Ciwandan dengan PT dan stasiun PT dengan KT. Selain itu, digunakan pula titik-titik stasiun pasut di perairan Selat Sunda, dengan asumsi memiliki kecepatan arus yang lebih kecil (10%) dari kecepatan arus geostrofik permukaan hasil perhitungan di setiap lokasi pengamatan.

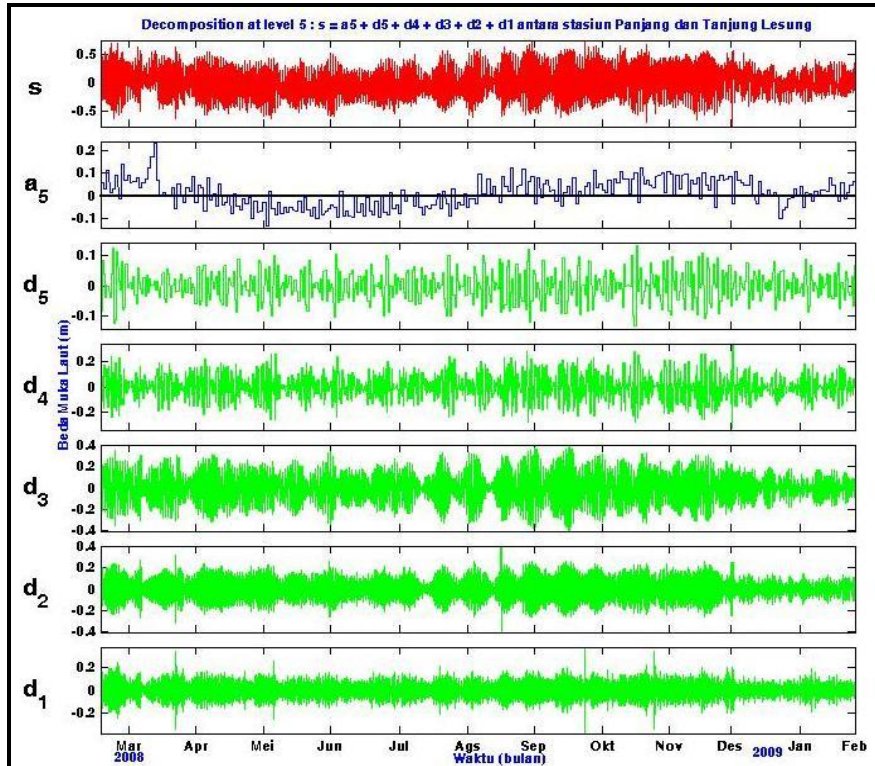
Asumsi ini digunakan karena tidak ada data tentang arus di stasiun-stasiun yang disebutkan. Hasil variasi beda tinggi muka laut dan variasi kecepatan arus geostrofik permukaan disajikan pada Gambar 8, 9, dan 10.

Dari Gambar 8, 9, dan 10 dapat dilihat bahwa variasi beda tinggi muka laut yang dipengaruhi oleh perubahan arah dan kecepatan angin di perairan Selat Sunda menimbulkan adanya kemiringan (*slope*) permukaan laut.

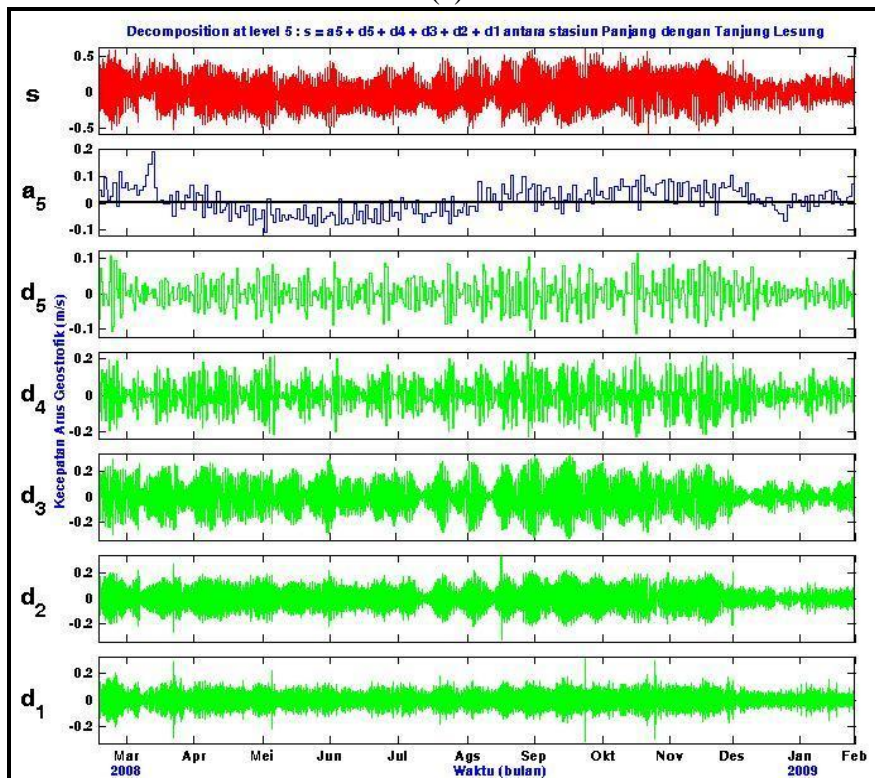
Di perairan Selat Sunda arus geostrofik yang timbul akibat adanya keseimbangan antara gaya gradient tekanan dan gaya Coriolis ini akan menyebabkan massa air mengalir ke arah barat apabila kecepatan arus geostrofik permukaan bernilai negatif dan mengalir ke arah timur apabila kecepatan arus geostrofik permukaan bernilai positif. Sebaran arah dan kecepatan arus geostrofik permukaan rata-rata bulanan dari bulan Maret 2008 sampai Februari 2009 disajikan pada Gambar 11.

Selama Musim Timur kecepatan rata-rata arus geostrofik permukaan berkisar antara 0,14-0,16 m/s yang mengalir ke barat daya menuju Samudera Hindia, sedangkan pada saat Musim Barat kecepatan rata-rata arus geostrofik permukaan berkisar antara 0,14-0,17 m/s dan mengalir ke timur laut menuju Laut Jawa.

Arus permukaan hasil perhitungan geostrofik menggunakan data tinggi muka laut dari satelit TOPEX/Jason tahun 2008 juga menunjukkan hal yang serupa (Gambar 12). Pada saat berlangsung .

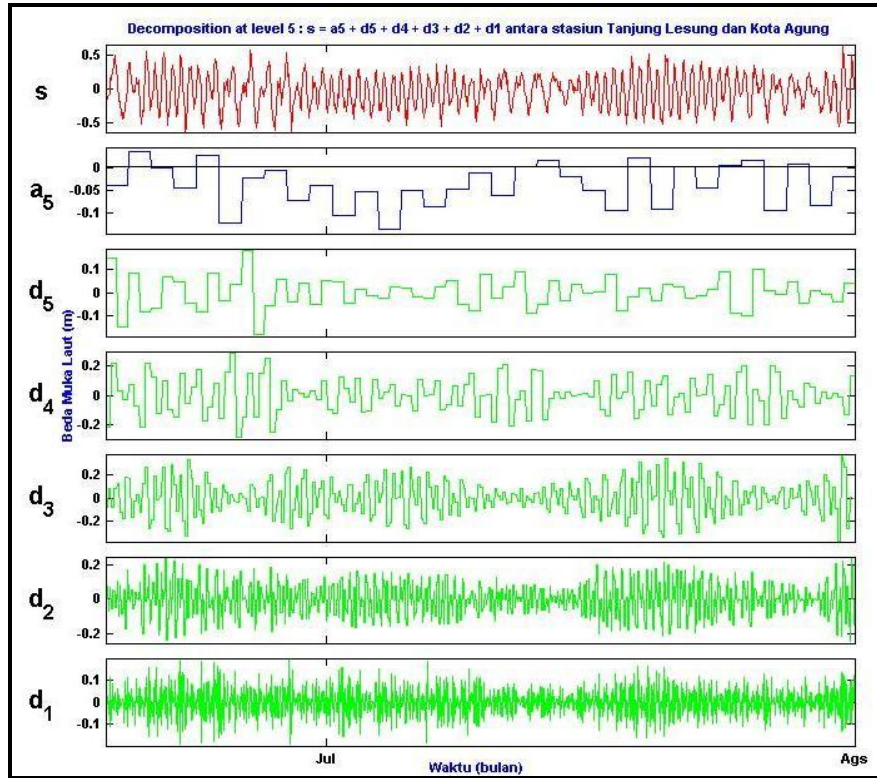


(a)

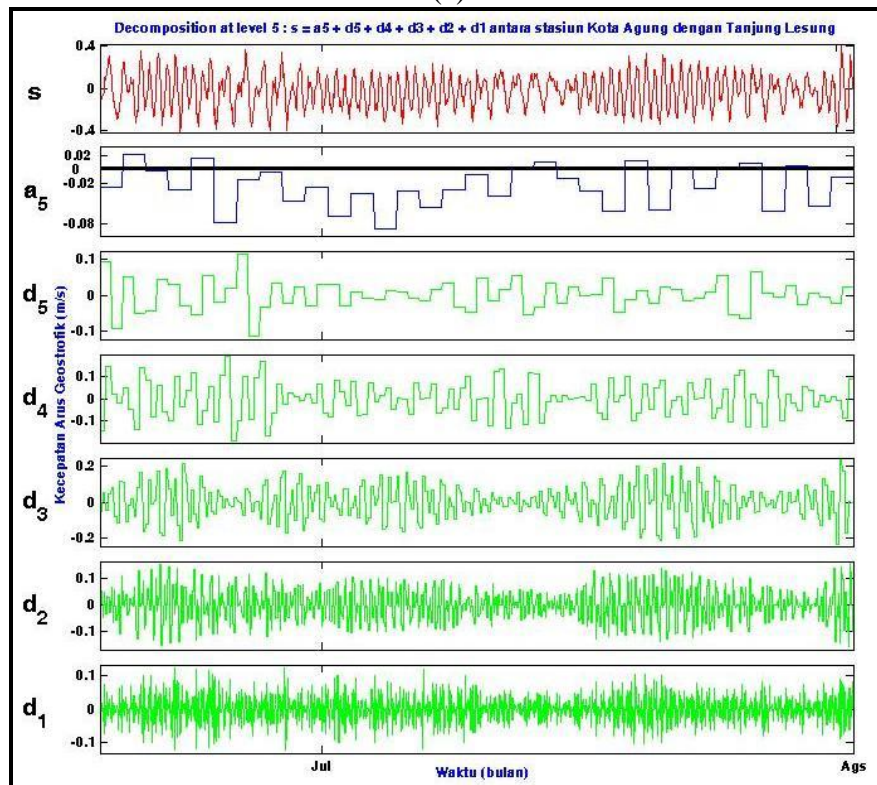


(b)

Gambar 8. Variasi (a) beda muka laut (non-pasut) dan (b) kecepatan arus geostrofik permukaan antara stasiun Panjang dan Tanjung Lesung (Maret 2008 - Februari 2009)

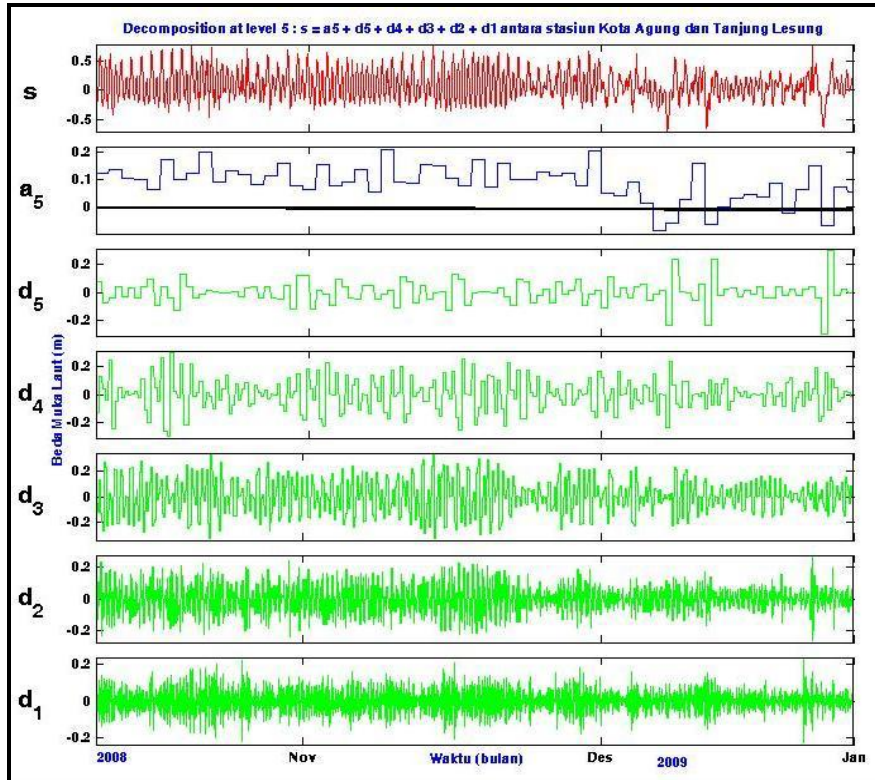


(a)

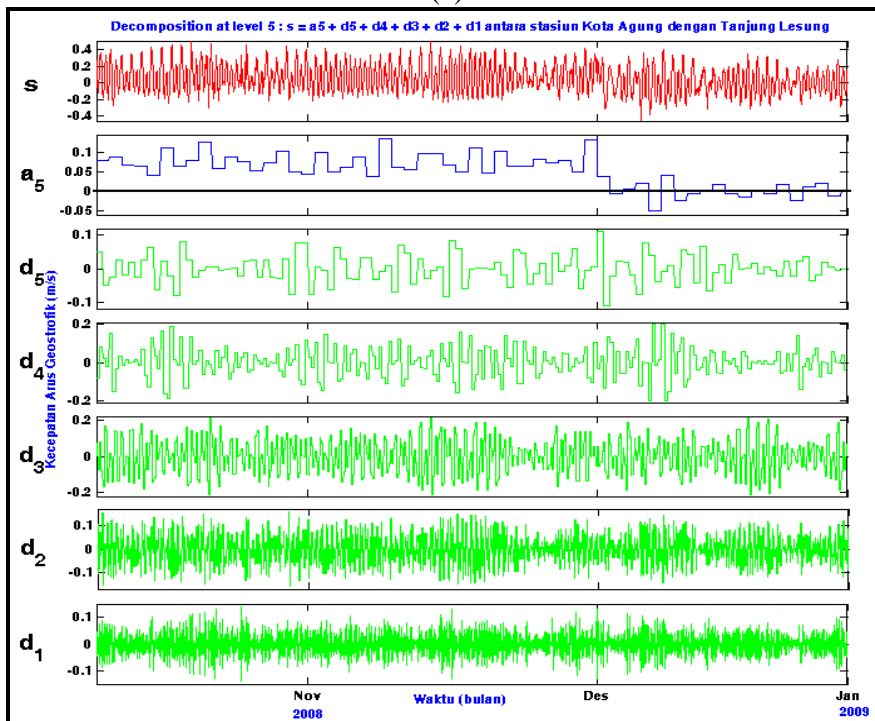


(b)

Gambar 9. Variasi (a) beda muka laut (non-pasut) dan (b) kecepatan arus geostrofik permukaan antara stasiun Tanjung Lesung dan Kota Agung (Juli - Agustus 2008)

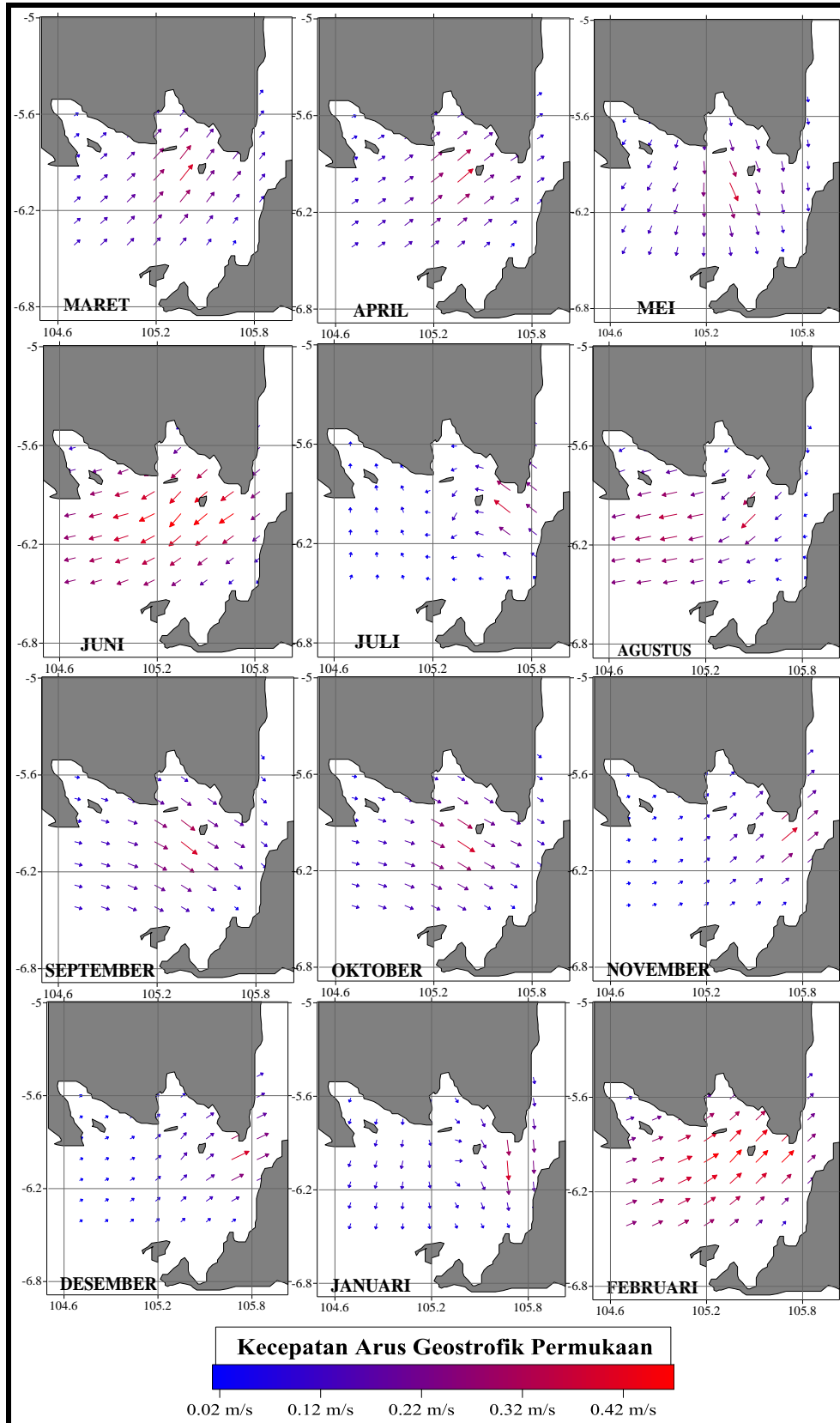


(a)



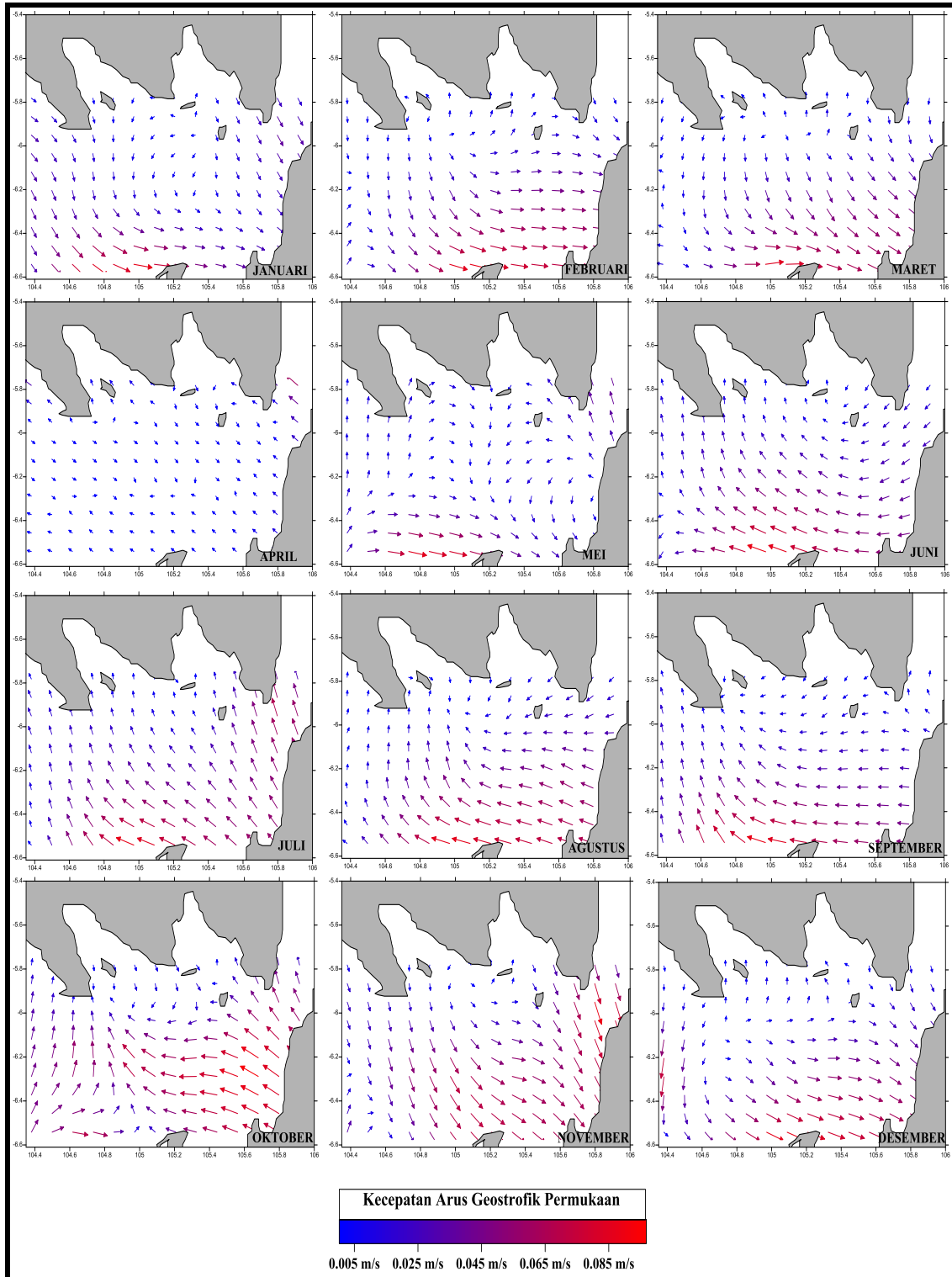
(b)

Gambar 10. Variasi (a) beda muka laut (non-pasut) dan (b) kecepatan arus geostrofik permukaan antara stasiun Tanjung Lesung dan Kota Agung (November 2008 - Januari 2009)



Gambar 11. Distribusi horizontal arus geostrofik permukaan rata-rata bulanan pada bulan Maret 2008 sampai Februari 2009

Variasi Muka Laut Dan Arus Geostrofik Permukaan Perairan...



Sumber : Data tinggi muka laut dari satelit TOPEX/Jason
(<http://www.avisioceanobs.com/en/data/>) tahun 2008

Gambar 12. Distribusi horizontal arus geostrofik permukaan rata-rata bulanan

Musim Timur (Juni-Agustus) massa air mengalir menuju Samudera Hindia dengan kecepatan yang bisa mencapai 0.18 m/s, sedangkan pada saat berlangsung Musim Barat (Desember-Februari) massa air mengalir menuju Laut Jawa dengan kecepatan mencapai 0.14 m/s.

Pola arus geostrofik permukaan di perairan Selat Sunda yang selalu berganti arah mengikuti pola perubahan musim diduga berhubungan dengan adanya perbedaan tinggi muka laut antara Laut Jawa dengan perairan selatan Jawa setiap musimnya. Dishidros-AL (1998) *in* Pariwono (1999) menyatakan bahwa arus yang disebabkan oleh musim di Selat Sunda mengalir ke arah yang berlawanan tergantung musimnya. Pada Musim Timur (Juni-Agustus) arus musim mengalir menuju Lautan Hindia dengan kecepatan 0,35 m/s, sedangkan pada Musim Barat (Desember-Februari) arus tersebut mengalir ke arah Laut Jawa dengan kecepatan 0,30 m/s. Hasil ini berbeda dengan yang digambarkan oleh Wrytki (1961) yang menyatakan arus rerata bulanan di Selat Sunda selalu mengalir dari Laut Jawa ke Samudera Hindia. Diduga perbedaan yang terjadi karena data yang digunakan berbeda, dimana dalam penelitian ini data berasal dari stasiun yang berada di dalam perairan Selat Sunda.

3.4. Variasi Arus Pasut

Variasi muka laut pada skala harian di perairan Selat Sunda di pengaruhi oleh pasang surut. Tipe pasang surut di perairan Selat Sunda yang diperoleh dari hasil perhitungan bilangan Formzahl adalah campuran dominan ganda (Tabel 4), sehingga arus pasut juga akan memiliki tipe yang sama. Tipe pasut

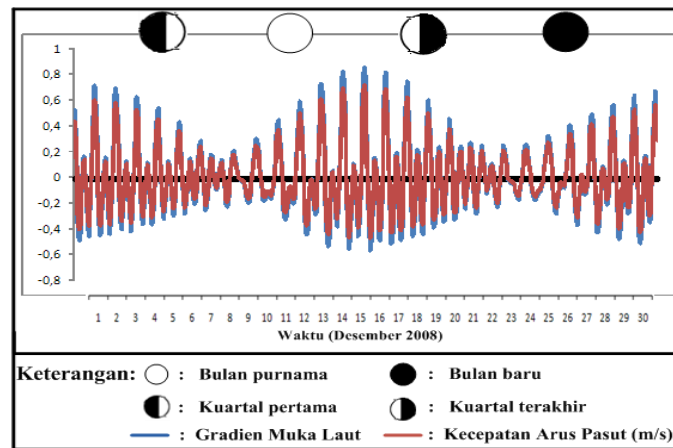
campuran dominan ganda pada perairan ini diduga merupakan rambatan pasut yang berasal dari Samudera Hindia yang masuk ke Laut Jawa melalui Selat Sunda (Pariwono, 1999).

Arus pasut hasil perhitungan geostrofik yang terjadi di perairan Selat Sunda adalah massa air yang dipengaruhi oleh gerakan pasut yang merambat secara horizontal, yang menyebabkan air keluar masuk perairan selat. Ketika muka laut pasang, arus pasut akan mengalir ke arah timur laut menuju Laut Jawa dengan kisaran kecepatan antara 0,51-0,72 m/s, sedangkan pada saat muka laut surut, arus pasut akan mengalir ke arah barat daya menuju Samudera Hindia dengan kisaran kecepatan antara 0,48-0,51 m/s. Kondisi ini mirip seperti yang dikemukakan oleh Pariwono (1999). Pariwono (1999) mendapatkan bahwa pada waktu air pasang, arus pasut mengalir ke arah timur laut menuju Laut Jawa dengan kecepatan mencapai 0.45 m/s, sedangkan pada waktu air surut arus pasut mengalir kembali ke arah barat daya menuju Lautan Hindia dengan kecepatan mencapai 0.75 m/s.

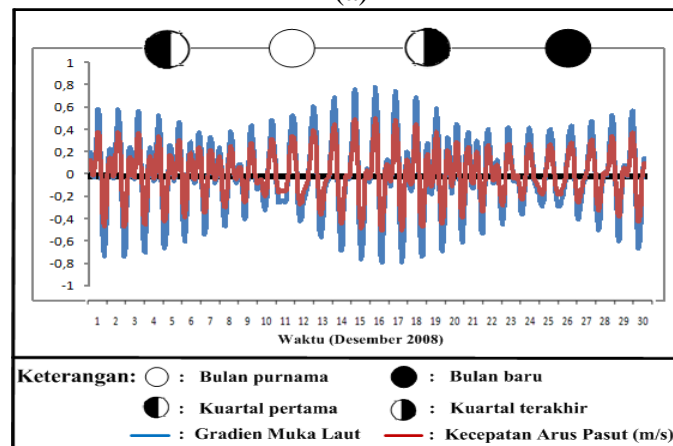
Kecepatan maksimum arus pasut hasil perhitungan geostrofik pada bulan Desember 2008 mengalami pergeseran selama 3 hari dari fase bulan purnama dengan kecepatan mencapai 0,72 m/s di stasiun PT dan 0,51 m/s di stasiun KT. Begitu pula dengan kecepatan minimum arus pasut yang mengalami pergeseran selama 3 hari dari fase kuartal pertama maupun kuartal terakhir dengan kecepatan mencapai 0,04 m/s di stasiun PT dan 0,06 m/s di stasiun KT. Hal tersebut diperjelas pada grafik gradien muka laut (pasut) dan arus pasut pada bulan Desember 2008 di setiap lokasi yang dikaji (Gambar 13).

Tabel 4. Amplitudo komponen pasut utama serta tipe pasut berdasarkan perhitungan bilangan Formzahl di perairan Selat Sunda

Stasiun	O1	K1	M2	S2	Nilai Formzahl	Tipe Pasut
Ciwandan	0.05	0.11	0.21	0.12	0.51	campuran dominan ganda
Panjang	0.09	0.15	0.34	0.16	0.47	campuran dominan ganda
Tanjung Lesung	0.05	0.07	0.08	0.02	1.17	campuran dominan ganda
Kota Agung	0.11	0.15	0.34	2.09	0.11	ganda



(a)



(b)

Gambar 13. Pola pasut dan arus pasut pada bulan Desember 2008 beserta kedudukan fase bulan pada stasiun (a) PT dan (b) KT

IV. KESIMPULAN

Angin Muson menyebabkan variasi musiman muka laut perairan Selat Sunda dengan waktu tenggang (*timelag*) antara 2 jam sampai 19 hari. Hasil analisis

Wavelet dan FFT mendapatkan bahwa periodisitas perubahan muka laut di Selat Sunda tahun 2008 mempunyai periode antara 4-6 bulan, dan diperkirakan dipengaruhi oleh periodisitas di Laut Jawa. Di samping itu, periodisitas intra

musiman (1-3 bulan) dan pasut dua mingguan (14-17 hari) juga ditemui di perubahan muka laut Selat Sunda. Kedua siklus ini diperkirakan berasal dari Samudera Hindia yang merambat masuk ke perairan Selat Sunda. Dari perhitungan arus geostrofik permukaan rata-rata bulanan didapati bahwa arus di Selat Sunda mengalir menuju Samudera Hindia pada Musim Timur (Juni-Agustus) dengan kecepatan berkisar antara 0,14 - 0,16 m/s. Pada Musim Barat (Desember-Februari) arus geotrofik permukaan tersebut mengalir ke Laut Jawa dengan kecepatan berkisar antara 0,14 - 0,17 m/s. Pada skala harian terjadi arus pasut yang mengalir ke arah timur laut menuju Laut Jawa pada saat muka laut pasang dengan kisaran kecepatan antara 0,51 - 0,72 m/s, dan mengalir ke arah barat daya menuju Samudera Hindia pada saat muka laut surut dengan kisaran kecepatan antara 0,48 - 0,51 m/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada seluruh staf Pusat Geodesi dan Geodinamika BAKOSURTANAL atas data yang disediakan dan atas kemudahan serta kerjasamanya selama pengerjaan penelitian ini. Demikian pula kepada Prof. Dr. Ir. Mulia Purba, M.Sc, Mochammad Tri Hartanto, S.Pi, dan Santoso A.Md yang telah bersedia berbagi ilmu dalam pengolahan data dan kepada pihak-pihak lain yang banyak membantu demi kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Azis, M.F. 2006. Gerak Air di Laut. *Oseana*. 31(4):9-21.
 Hadikusumah. 2003. Karakteristik Arus di Selat Sunda Bulan Juli 2001. Pesisir dan Pantai Indonesia. 9(4):1-8.

Minarto, E., Heron S., Elizabeth, V., Tjong, G. P., Muzilman, M. dan Eka, S. 2008. Distribusi Temperatur dan Salinitas Bulan November 2008 di Selat Sunda. ITS, UNSRI, ITB, UI, UNAS. Jakarta.
 Pamuji, I. 2009. Analisis Variasi Muka Laut di Perairan Sabang, Sibolga, Padang, Cilacap dan Benoa Menggunakan Metode Wavelet. *Skripsi* (Tidak dipublikasikan). Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
 Pariwono, J. I. 1999. Kondisi Oseanografi Perairan Pesisir Lampung. Proyek Pesisir Publication, Technical Report (TE-99/12-I) Coastal Resource Center, University of Rhode Island. [15 Oktober 2009]
 Pariwono, J.I. 1989. Kondisi Pasang-Surut di Indonesia. *Dalam: A Ongkosongo, Otto.S.R., dan Suyarso, ASEAN-Australia cooperative programs on marine science. Project 1: tides and tidal phenomena*. LIPI, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Jakarta. Hal.: 135-147.
 Pugh, D.T. 1987. *Tides Surges and Mean Sea-Level*. Great Britain by Bath Press, Avon.
 Purba, M. 2007. Dinamika Perairan Selatan P. Jawa – P. Sumbawa saat Muson Tenggara. *Torani*. 17(2) : 140-150.
 Putri, M.R. 2005. *Study of Ocean Climate Variability (1959-2002) in the Eastern Indian Ocean, Java Sea and Sunda Strait Using the Hamburg Shelf Ocean Model*. *Disertasi* (Tidak dipublikasikan). Fachbereich Geowissenschaften. Universit`at Hamburg, Hamburg.

- Sakti, E.P. 2004. Variabilitas Angin dan Paras Laut serta Interaksinya di Perairan Utara dan Selatan Pulau Jawa. *Skripsi* (Tidak dipublikasikan). Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Shensa, M.J. 2002. *The Discrete Wavelet Transform*. IEEE Signal Processing Society. ieeexplore.ieee.org. [29 Juli 2009]
- Stewart, R.H. 2006. *Introduction to Physical Oceanografi*. Dept. of Oceanography. Texas A dan M University, Texas.
- Supangat, A. dan Susanna. Pengantar Oseanografi. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non-Hayati. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Departemen Kelautan dan Perikanan, Jakarta.
- Sprintall, J., A. L. Gordon, R. Murtugudde, and R. D. Susanto. 2000. A Semiannual Indian Ocean Forced Kelvin Wave Observed in the Indonesian Seas in May 1997. *J. Geophys. Res.* 105 (C7) : 17,217-17,230.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon dan Q. Zheng. 2001. Upwelling Along The Coast of Java and Sumatera and its Relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*. 28(8): 1599 – 1602.
- The Math Works Inc. 2004. MATLAB Wavelet Toolbox User Guide. Natick.
- Wyrtki, K. 1961. Physical Oceanography of The Southeast Asian Water. NAGA Report Vol 2. Scripps Inst. Oceanography. The University of California. La Jolla, California.
- Suriamihardja, D.A. 2005. Compromise management in the jeneberang delta and losari bay, Makassar. *Department of Geography. Publication Series Number 61 University of Waterloo*.
- Triwahyuni, A., M. Purba, dan S.B. Agus. 2010. Pemodelan perubahan garis pantai timur Tarakan, Kalimantan Timur. Ilmu Kelautan: *Indonesian J. of Marine Sci. 1(Edisi Khusus):9-23*.
- USACE (U. S. Army Corps of Engineers). 2003. *Coastal Sediment Processes, Part III*, Department of the Army. U.S. Army Corp of Engineers. Washington DC.

Lampiran 1. Spektrum korelasi silang angin permukaan utara Jawa dengan muka laut di setiap stasiun pada tahun 2008.

Stasiun	Komponen Zonal						Komponen Meridional					
	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu
Ciwandan	4096	5.7 bulan	12.29	0.59	-0.98	21 hari	2730.7	3.8 bulan	4.34	0.61	-0.02	9 jam
	2730.7	3.8 bulan	10.77	0.49	-1.12	15 hari	1608	2 bulan	13.61	0.20	-0.57	6 hari
	1365.3	1.9 bulan	3.86	0.16	0.61	5 hari	1365.3	1.9 bulan	1.72	0.13	0.09	20 jam
	744.7	1 bulan	-5.61	0.86	2.15	6 hari	1024	1 bulan	3.85	0.59	1.08	6 hari
	643.2	26.8 hari	8.89	0.46	-1.07	4 hari	402	16.8 hari	-9.03	0.74	-2.16	3 hari
	459.4	19 hari	-12.64	0.42	2.87	4 jam						
Panjang	4096	5.7 bulan	309.65	0.81	-0.05	1 hari	4096	5.7 bulan	68.92	0.82	-0.09	2 hari
	2730.7	3.8 bulan	198.37	0.67	0.004	2 jam	600	25 hari	256.51	0.09	-0.43	2 hari
	600	25 hari	37.25	0.28	-0.17	16 jam						
Tanjung Lesung	4096	5.7 bulan	268.65	0.60	0.09	2 hari	4096	5.7 bulan	51.20	0.81	0.02	13 jam
	624	26 hari	-1.53	0.68	1.66	4 hari	624	26 hari	9.17	0.80	0.70	3 hari
Kota Agung	516	21.5 hari	-4.64	0.22	2.24	4 hari	416	17 hari	6.52	0.74	0.92	1 hari
	312	13 hari	0.83	0.69	1.49	2 hari	344	14 hari	2.51	0.60	-1.15	2 hari
	129	5 hari	1.88	0.53	0.70	13 jam	172	7 hari	-0.65	0.43	1.91	1 hari

Lampiran 2. Spektrum korelasi silang angin permukaan Selat Sunda dengan muka laut di setiap stasiun pada tahun 2008.

Stasiun	Komponen Zonal						Komponen Meridional					
	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu
Ciwandan	2730.7	3.8 bulan	26.09	0.56	-0.55	9 hari	4096	5.7 bulan	-4.56	0.73	1.98	30 hari
	643.2	26.8 hari	20.89	0.45	-0.63	2 hari	2730.7	3.8 bulan	-8.73	0.61	2.21	21 hari
	459.4	19 hari	-13.24	0.38	2.6	4 hari	1608	2 bulan	18.51	0.52	-0.75	15 jam
							1024	1 bulan	5.9	0.33	0.02	3 jam
							804	1 bulan	-11.62	0.48	-2.58	6 hari
Panjang	4096	5.7 bulan	338.63	0.76	0.01	10 jam	4096	5.7 bulan	-113.14	0.66	2.85	33 hari
	2730.7	3.8 bulan	229.97	0.69	0.22	4 hari	1024	1 bulan	18.86	0.34	0.43	3 hari
	600	25 hari	46.73	0.30	0.03	3 jam	240	10 hari	-9.84	0.51	-3.01	2 hari
	400	16.7 hari	-2.04	0.18	1.67	3 hari						
Tanjung Lesung	4096	5.7 bulan	348.4	0.63	0.1	3 hari	4096	5.7 bulan	-117.95	0.56	2.98	34 hari
	624	26 hari	1.69	0.60	-0.543	3 hari	624	26 hari	10.05	0.81	-0.543	2 hari
Kota Agung	416	17 hari	8.47	0.73	1.27	3 hari	540	22.5 hari	9.97	0.48	-0.73	2 hari
	360	15 hari	-7.67	0.57	2.15	3 hari	360	15 hari	8.35	0.47	-1.07	2 hari
	180	7.5 hari	2.96	0.25	0.66	17jam	250	10 hari	-7.81	0.58	2.91	2 hari
	135	5.6 hari	-5.08	0.58	2.84	1 jam	154	6 hari	-9.75	0.44	2.70	1 jam

Lampiran 3. Spektrum korelasi silang angin permukaan selatan Jawa dengan muka laut di setiap stasiun pada tahun 2008.

Stasiun	Komponen Zonal						Komponen Meridional					
	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu
Ciwandan	2730.7	3.8 bulan	20.72	0.47	-0.41	8 hari	2730.7	3.8 bulan	-17.37	0.60	2.67	9 hari
	1608	2 bulan	-16.84	0.22	2.21	12 hari	1608	2 bulan	23.37	0.49	-0.81	7 hari
	643.2	26.8 hari	35.98	0.47	-0.47	2 hari	643.2	26.8 hari	-30.41	0.69	-2.83	5 hari
Panjang	4096	5.7 bulan	499.66	0.85	0.14	19 hari	4096	5.7 bulan	-270.52	0.80	-3.13	34 hari
	2730.7	3.8 bulan	290.11	0.70	0.36	6 hari	2730.7	3.8 bulan	-170.80	0.68	-2.91	22 hari
	600	25 hari	79.46	0.51	0.16	15 jam	400	16.7 hari	-362.63	0.13	2.74	3 hari
	400	16.7 hari	14.86	0.35	1.11	2 hari	200	8 hari	114.56	0.27	0.34	10 jam
Tanjung Lesung	4096	5.7 bulan	407.42	0.67	0.21	5 hari	4096	5.7 bulan	-221.65	0.76	-3.07	34 hari
	744.7	1 bulan	116.43	0.77	0.58	2 hari	744.7	1 bulan	-49.70	0.89	-2.13	6 hari
Kota Agung	624	26 hari	-2.64	0.74	1.65	3 hari	624	26 hari	9.72	0.79	-1.02	3 hari
	344	14 hari	-0.09	0.64	1.58	2 hari	516	21.5 hari	-0.98	0.66	-1.67	4 hari
	312	13 hari	11.17	0.69	1.06	2 hari	249	10 hari	-8.03	0.40	-3.00	2 hari
	172	7 hari	2.23	0.66	0.18	5 hari	206	8.6 hari	-1.00	0.17	-2.29	2 hari
							129	5 hari	1.14	0.33	0.28	6 jam

Lampiran 4. Spektrum korelasi silang angin permukaan barat Sumatera dengan muka laut di setiap stasiun pada tahun 2008.

Stasiun	Komponen Zonal						Komponen Meridional					
	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu	Periode (jam)	Keterangan	Spektrum densitas energi	Koherensi	Beda fase (tan^{-1})	Waktu
Ciwandan	2730.7	3.8 bulan	40.67	0.65	-0.43	7 hari	2730.7	3.8 bulan	-25.93	0.80	2.50	22 hari
	643.2	26.8 hari	40.48	0.50	-0.31	1 hari	1608	2 bulan	20.97	0.59	-0.83	7 hari
	459.4	19 hari	-17.48	0.50	2.27	4 hari	643.2	26.8 hari	-26.96	0.60	-2.89	5 hari
Panjang	4096	5.7 bulan	562.07	0.83	0.02	13 jam	4096	5.7 bulan	-318.47	0.80	3.09	34 hari
	2730.7	3.8 bulan	367.81	0.75	0.21	4 hari	2730.7	3.8 bulan	-213.93	0.66	-3.02	22 hari
	600	25 hari	65.71	0.35	0.29	1 hari	600	25 hari	-677.85	0.46	-2.52	5 hari
	400	16.7 hari	1.02	0.32	1.54	3 hari	400	16.7 hari	-558.55	0.36	2.94	3 hari
Tanjung Lesung	4096	5.7 bulan	461.48	0.74	0.11	3 hari	4096	5.7 bulan	-264.90	0.75	-3.09	34 hari
Kota Agung	516	21.5 hari	0.55	0.72	1.53	3 hari	624	26 hari	3.02	0.51	-1.37	4 hari
	416	17 hari	9.84	0.77	1.32	3 hari	344	14 hari	2.19	0.73	-1.38	2 hari
	258.0	10.8 hari	-0.32	0.70	1.62	2 hari	258	10.7 hari	2.07	0.58	-1.25	2 hari
	125	5 hari	-2.86	0.51	3.04	1 hari	249	10 hari	-5.35	0.20	-2.97	2 hari