

**STUDI KOMPONEN PASANG SURUT PERAIRAN DANGKAL
(OVER AND COMPOUND TIDES) MODEL KANAL 1 DIMENSI
DENGAN MENGGUNAKAN METODA ASIMILASI DATA VARIASIONAL**

**STUDY COMPONENTS OF SHALLOW WATER TIDE
(OVER AND COMPOUND TIDES) 1 DIMENSIONAL CHANNEL MODEL
BY USING VARIATIONAL DATA ASSIMILATION METHOD**

Evie H. Sudjono^{1,2}, A. Setiawan³, S. Hadi², N. S. Ningsih²

¹Puslitbang Geologi Kelautan, Bandung, e_sudjono@yahoo.com

²Institut Teknologi Bandung, Bandung

³Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Jakarta

ABSTRACT

Shallow water tides are very important to improve accuracy of tidal predictions. It is used by port interest, sea transportation, fishing industry, coastal engineering, etc. Simulation of shallow water tides was obtained from harmonic analysis of 1 dimensional channel model (12 grid) by using variational data assimilation (grid 3 and 8). Two partial tides with angular frequencies $\sigma_1 = 1,4 \times 10^{-4}$ and $\sigma_2 = 1,6 \times 10^{-4}$ rad/sec and amplitude $A_1 = 1 \times 10^{-8}$ and $A_2 = 0,5 \times 10^{-8}$ meters are used for defining external forcing in the model domain. When inspecting the amplitudes of both partial tides σ_1 and σ_2 and some of their dominant over- and compound tides ($\sigma_3 = 2\sigma_1 - \sigma_2$ and $\sigma_4 = 3\sigma_1$), in general the “to be corrected” solution can be improved significantly. Root mean square (rms) error of tidal constituent σ_1 between the “reference” and the “to be corrected” without data assimilation is 0,1075 m/sec, and for σ_2 is 0,0440 m/sec, respectively. On the other hand, the harmonic analysis of the phase of tidal constituent σ_1 showed a good result (root mean square = 0.0000 m/s) and for σ_2 (root mean square = 0.0002 m/s).

Keywords: shallow water tides, data assimilation, harmonic analysis.

ABSTRAK

Komponen pasang surut (pasut) perairan dangkal sangat penting dalam meningkatkan ketelitian prediksi yang digunakan bagi kepentingan pelabuhan, transportasi laut, industri perikanan, rekayasa pantai (*coastal engineering*), dan lain-lain. Pada penelitian ini, komponen pasut perairan dangkal diperoleh dari analisis harmonik hasil model kanal 1 dimensi (12 grid) dengan menggunakan asimilasi data variasional (data pada grid 3 dan 8). Dua komponen pasut dengan frekuensi $\sigma_1 = 1,4 \times 10^{-4}$ dan $\sigma_2 = 1,6 \times 10^{-4}$ rad/det sebagai gaya pembangkit domain model. Hasil analisis harmonik untuk memisahkan amplitudo kecepatan komponen pasut parsial (σ_1 dan σ_2) dan komponen pasut perairan dangkal yang dominan (*over-* dan *compound tides* $\sigma_3 = 2\sigma_1 - \sigma_2$ dan $\sigma_4 = 3\sigma_1$), secara umum diperoleh solusi “yang akan diperbaiki” dapat ditingkatkan secara signifikan. Deviasi antara nilai solusi “yang akan diperbaiki” dengan solusi “acuan” (*Root mean square*) komponen pasut σ_1 antara hasil model “yang akan diperbaiki” dengan hasil model “acuan” tanpa asimilasi adalah 0,1075 m/det dan σ_2 adalah 0,0440 m/det. Akan tetapi, hasil *root mean square* setelah diterapkan asimilasi data untuk σ_1 adalah 0,0000 m/det dan untuk σ_2 adalah 0,0002 m/det.

Kata kunci: pasut, asimilasi data, analisis harmonik

I. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang pasang surut (pasut) sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti navigasi, rekayasa pantai/ *ocean engineering* (pembuatan pelabuhan, bangunan penahan gelombang, jembatan laut, dan pemasangan pipa bawah laut) (Pugh, 1987), survei hidrografi, penentuan batas (laut) suatu negara, operasi militer, olah raga bahari, dan pembangkit listrik tenaga pasut/ PLTP. Penjalaran gelombang pasut di perairan dangkal dipengaruhi oleh proses fisis yang bergantung pada nilai kuadrat amplitudonya serta gesekan dasar yang merupakan komponen non linear yang menyebabkan terbentuknya komponen pasut perairan dangkal/*shallow water tides* (Airy, 1845 dalam Bowden, 1983; Hadi, 1973; Pugh, 1987).

Menurut Parker (1991a) dalam Parker (1991), pada persamaan gerak (Persamaan 1. dan 2.) terdapat dua suku non linear, yaitu: suku konvektif $u \frac{\partial u}{\partial x}$ dan suku gesekan yang terdiri dari dua aspek yaitu suku gesekan kuadrat $u|u|$ dan suku yang berkaitan dengan efek elevasi terhadap gesekan momentum *loss* per unit volume fluida $\eta u|u|$. Selain itu, suku nonlinear $\frac{\partial(\eta u)}{\partial x}$ terdapat pula pada persamaan kontinuitas. Suku $\eta u|u|$ dan $\frac{\partial(\eta u)}{\partial x}$ sangat penting dalam membangkitkan *even harmonic overtides, quarter diurnal dan terdiurnal compound tides, low frequency compound tides, dan tidally induced* yang mempengaruhi tinggi muka laut rata-rata. Suku gesekan kuadrat $u|u|$ penting dalam membangkitkan *odd harmonic overtides, semidiurnal compound tides, dan ter-, fifth-, sixth-, seventh diurnal compound tides*.

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - C_b \frac{u|u|}{H + \eta} \dots\dots (1)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x} [b(H + \eta)u] = 0 \dots\dots\dots (2)$$

dengan u kecepatan dalam arah x , b lebar kanal, H kedalaman kanal, η elevasi, dan t waktu. Penyelesaian persamaan yang di dalamnya terdapat suku-suku non linear (misal persamaan (2) dan (3)) secara analitik adalah tidak mudah (Ramming dan Kowalik, 1980), sedangkan secara numerik dapat mengakibatkan ketidakstabilan. Linearisasi persamaan (1) dan (2) untuk perairan dangkal dengan mengabaikan suku-suku non linear ternyata memperoleh hasil yang kurang baik karena di daerah perairan dangkal faktor non linear sangat signifikan (Mihardja, 1991; Kagan dan Romanenkov, 2007). Pasut memberikan kontribusi utama dinamika laut terutama di daerah paparan dan pantai, oleh karena itu hal ini menjadi alasan utama perlunya prediksi variasi muka laut yang akurat khususnya untuk alasan ekonomis dan rekayasa pantai seperti manajemen pantai (Lefevre *et.al.*, 2000). Akan tetapi, data pasut hasil observasi tidak tersedia sebanyak yang diperlukan, khususnya untuk prediksi pasut. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah dengan menerapkan metoda asimilasi data pada model numerik, diharapkan dapat memperbaiki hasil model.

II. METODA PENELITIAN

Asimilasi data merupakan suatu metodologi yang dapat mengoptimalkan informasi hasil pengamatan dengan mengkombinasikan atau mengasimilasikan kedalam model numerik. Konsep asimilasi data secara langsung berhubungan dengan konsep

error yang terdapat pada tiga komponen sistem asimilasi data, yaitu data hasil pengukuran di lapangan, model dinamik, dan teknik asimilasi data. *Error* hasil pengamatan dapat mengandung gangguan (*noise*) ketika pembacaan, atau karena faktor kesalahan interpretasi. Model dinamik dapat mengandung *error* akibat sistem grid, kesalahan numerik, dan lain-lain. Pendekatan dan penyederhanaan dalam metoda asimilasi dapat menyebabkan *error* pula (Torre, 1999).

Secara umum asimilasi data dapat dibagi menjadi dua bagian utama (Torre, 1999; Setiawan, 2007):

- 1) *Control theory* (variasional)
- 2) *Estimation theory* (sekuensial)

2.1. *Control theory* (variasional)

Asimilasi data berdasarkan *control theory* (asimilasi data variasional) adalah memecahkan masalah dengan optimasi dari kriteria yang diberikan, dengan cara meminimumkan *cost function* yang ditentukan oleh data dan model dinamik yaitu dengan variasi variabel kontrol, seperti *initial conditions*, *boundary conditions*, *external forcing*, atau parameter model. Nilai minimum diperoleh dengan iterasi hingga perbedaan data-model direduksi dibawah suatu nilai yang tertentu (Setiawan, 2007). Metoda Asimilasi data variasional telah diterapkan dengan hasil cukup baik (Zahel, 1991 dalam Setiawan, 2007), menyelesaikan meminimumkan *cost function* secara iteratif menggunakan metoda *conjugate gradient least square* (CGLS) (Paige dan Saunders, 1982 dalam Setiawan, 2007). Metoda ini sangat efektif dan tidak membutuhkan memori komputer yang besar untuk menyelesaikan masalah, yaitu dengan mencari solusi dari *least squares* kombinasi data dan model (Setiawan, 2007). Berdasarkan Courtier dan Talagrand (1990) dalam Setiawan (2007)

bahwa dari beberapa penelitian eksperimen numerik di bidang meteorologi dan oseanografi, metoda asimilasi data variasional memperlihatkan hasil numerik yang konvergen dalam memperoleh solusi dan hasilnya secara fisis mendekati nilai observasi. Metoda asimilasi data variasional adalah analisis x melalui *minimization cost function* $J(x)$. Penyelesaian pers. (3) dengan menggunakan metoda *Conjugate Gradient Least Square* (Paige dan Saunders, 1982 dalam Setiawan, 2007).

$$J(x) = (Ax-b)^T C^{-1} (Ax-b) + (Dx-d)^T S^{-1} (Dx-d) \dots (3)$$

dimana A matriks yang dibangun Persamaan (4), x vektor yang belum diketahui yang akan dicari, b vektor yang dibentuk gaya luar (dan *initial value* pada langkah ke satu dan ke dua), C dan S adalah matriks *dynamical* dan *data error covariance*.

2.2. *Estimation theory*

Estimation theory berhubungan dengan proses asimilasi sekuensial (urutan, rangkaian), dimana data hasil pengamatan digunakan dalam waktu yang sama ketika data tersebut tersedia (Torre, 1999; Setiawan, 2007). Teknik ini terutama digunakan di bidang meteorologi (Boutier dan Courtier, 1999; Torre, 1999; Setiawan, 2007).

Hasil model non linear skala regional dapat lebih mendekati hasil pengamatan dengan menerapkan metoda asimilasi data, yaitu mengoptimalkan data lapangan dengan memasukkan atau mengasimilasikan kedalam model numerik (Torre, 1999; Bouttier dan Courtier, 1999; Setiawan, 2007). Aplikasi metoda asimilasi data dengan hasil cukup baik di sekitar Perairan Indonesia telah dibuat oleh Egbert dan Erofeeva (2002) dalam Ray *et al.* (2005). Robertson dan Field (2005) telah menerapkan metoda asimilasi data untuk Perairan Indonesia

bagian timur dengan hasil yang cukup baik.

2.3. Persamaan

Persamaan yang digunakan adalah persamaan (4) yang merupakan kombinasi dari persamaan momentum dan kontinuitas (Setiawan, 2007):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + R \frac{\partial u}{\partial t} + r^* |u| \frac{\partial u}{\partial t} + cu - r - gh \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \dots (4)$$

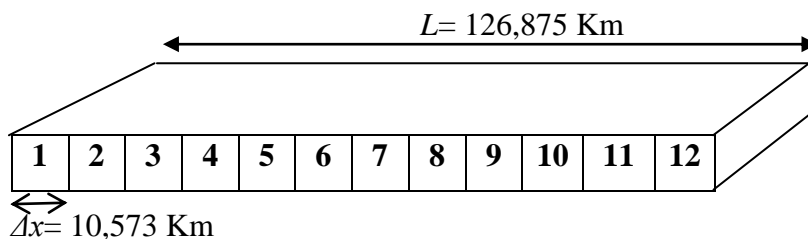
dimana R dan r^* adalah koefisien gesekan dengan satuan (s^{-1}) dan (m^{-1}), c koefisien redaman (s^{-2}), r gaya luar (ms^{-3}), h kedalaman kanal (m), g percepatan gravitasi (ms^{-2}), dan u kecepatan dalam arah x .

Penentuan Δt dari persamaan (5) di bawah (Setiawan, 2007):

$$\Delta t = \left(\frac{2\pi}{\sigma_2 - \sigma_1} \right) / LAE \dots\dots\dots (5)$$

2.4. Model

Model kanal 1 dimensi dengan panjang kanal L 126,875 km, dibagi menjadi 12 grid dengan Δx sebesar 10,573 km, dengan menggunakan syarat stabilitas *Courant-Friedrich-Levy* yaitu sebesar Δt 373,8095 s (Gambar 1). Kanal dengan batas terbuka di kedua ujungnya, pada awalnya diberikan elevasi hasil interaksi dua komponen pasut (dengan amplitudo masing-masing $10^{-8}m$ dan $0,5 \times 10^{-8}m$ dengan frekuensi masing-masing $1,4 \times 10^{-4} rad/s$ dan $1,6 \times 10^{-4} rad/s$) sebagai gaya luar. *Running* program dengan menggunakan parameter pada kolom kedua Tabel 1 dengan hasil pertama disebut sebagai model “acuan”. *Running* program yang kedua dengan mengubah tiga parameter (r^* , g , dan c) yaitu pada kolom ketiga Tabel 1, selanjutnya disebut sebagai model “yang akan diperbaiki”. Tahap ketiga yaitu menerapkan asimilasi pada model “yang akan diperbaiki” pada grid 3 dan 8 dengan hasil *running* disebut model “asimilasi”.



Gambar 1. Desain model Kanal 1 D

III. HASIL DAN DISKUSI

Percobaan dengan menggunakan iterasi maksimum yaitu LAE sebesar 840 dan 420 (blok waktu/ *time window*) yang berbeda memperlihatkan adanya perbedaan nilai *rms error* (Tabel 2). Perbedaan hasil model acuan dengan yang akan diperbaiki menggunakan LAE

840 dan 420 ternyata memiliki selisih sekitar 16,78% dengan masing-masing 12,7 % dan 29,48%. Hasil untuk LAE sebesar 840 terlihat bahwa deviasi berkurang dengan bertambahnya blok waktu yang digunakan, yaitu untuk NAE sebesar 210, 420, dan 840 adalah 1,18%, 0,139%, dan 0,099% (Tabel 2). Hasil ini memperlihatkan bahwa ketika diterapkan

asimilasi dengan NAE sebesar 210 atau dengan kata lain asimilasi menggunakan iterasi $\frac{1}{4}$ dari iterasi maksimum (210 dari 840) maka hasilnya dapat diperoleh *rms* yang lebih kecil dari *rms* model yang akan diperbaiki dengan selisih sekitar 12,52%. Hasil ini dari segi biaya numerik (*numerical cost*) dapat menghemat waktu dalam proses perhitungan solusinya. Begitu pula ketika diterapkan dengan NAE sebesar 420 dan 840, *rms* memiliki selisih terhadap model yang akan diperbaiki masing-masing sebesar 12,56% dan 12,60%. Hasil asimilasi dengan NAE sebesar 210 atau $\frac{1}{4}$ nilai LAE (840) memperlihatkan hasil *rms* yang cukup kecil, hampir 10 kali lebih kecil dari hasil tanpa asimilasi. Begitu pula untuk NAE sebesar 420 atau $\frac{1}{2}$ dari LAE (840) diperoleh *rms* sebesar 0,139% atau sekitar 91 kali lebih kecil dari *rms* tanpa asimilasi.

Hasil ini berbeda dengan LAE sebesar 420, dimana *rms* terkecil adalah pada NAE sebesar 210 yaitu 0,11%, sedangkan pada NAE 210 dan 840 masing-masing adalah 0,623% dan 0,494%. Hasil ini juga kemungkinan besar dipengaruhi oleh nilai Δt untuk LAE 420 yaitu sebesar 747,619 det adalah tentu saja lebih besar dari $\Delta t = 373,8095$ det untuk LAE sebesar 840. Hasil dengan LAE sebesar 840 memperlihatkan hasil sangat baik dengan *rms* yang kecil. Oleh karena itu, untuk pengolahan data selanjutnya hanya menggunakan LAE = 840.

Hasil pengolahan data yang merupakan hasil simulasi kecepatan pada Grid 1 dan 6 terhadap waktu (*time series*) untuk hasil model dengan blok waktu (LAE) sebesar 840 dan (NAE) 210

dan 840 secara umum memperlihatkan bahwa dengan menerapkan prosedur asimilasi, diperoleh hasil yang mendekati nilai “acuan”. Prosedur asimilasi yang diterapkan hanya dengan menggunakan dua data yaitu pada grid no 3 dan 8 dari jumlah grid total sebanyak 12, ternyata dapat memperoleh hasil yang cukup baik (Tabel 2). Hasil ini juga cukup sesuai dengan hasil yang telah dibuat oleh Setiawan (2007).

Hasil simulasi kecepatan terhadap ruang untuk (a) $t = 3$ (b) $t = 12$ jam dengan LAE = 840, NAE = 210 secara umum memperlihatkan bahwa diperoleh hasil yang lebih baik dengan menerapkan metoda asimilasi dibandingkan dengan hasil model tanpa menerapkan hasil asimilasi (Gambar 2). Hasil asimilasi pada $t = 3$ jam memperlihatkan bahwa hasil asimilasi (u_{as}) lebih mendekati nilai acuan (u_{ac}) jika kita bandingkan dengan kecepatan tanpa asimilasi atau hasil model yang akan diperbaiki (u_d). Begitu pula untuk $t = 12$ jam memperlihatkan hasil yang mirip, dimana dengan menerapkan metoda asimilasi hasilnya benar-benar berimpit dengan hasil “acuan”.

Hasil ini juga menjelaskan bahwa penerapan prosedur asimilasi data variasional hanya dengan menggunakan dua data yang diasimilasikan yaitu pada no grid 3 dan 8 (jumlah total grid adalah 12), yaitu dengan menggunakan metoda (iteratif) CGLS dapat meminimumkan *error (cost function)* dengan baik (Zahel, 1997 dalam Setiawan; 2007). Hasil *rms error* amplitudo (m/s) dan fasa antara hasil model yang akan diperbaiki dengan asimilasi (LAE=840, NAE=210, 420, dan 840) diperlihatkan pada Tabel 3. dan 4.

Tabel 1. Nilai parameter yang digunakan Model Kanal 1 D

keterangan	Model “acuan”	Model “yang akan diperbaiki”
g percepatan gravitasi	10 m/s ²	10x0,95 m/s ²
Δt	373,8095 s	373,8095 s
Δx	10,573 Km	10,573 Km
h kedalaman kanal	20 m	20 m
L panjang kanal terbuka di ke2 sisi	126,875 Km	126,875 Km
Lama simulasi	87,89 jam (3,6 hari)	87,89 jam (3,6 hari)
Jumlah grid Asimilasi pada grid	12 -	12 3 dan 8
r^* koefisien gesekan	4×10^{-6} /s	2×10^{-6} /s
c koefisien redaman	$1,55 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$
σ_1 frekuensi pasut 1	$1,4 \times 10^{-4}$ rad/s ($T=12,46$ jam)	$1,4 \times 10^{-4}$ rad/s ($T=12,46$ jam)
σ_2 frekuensi pasut 2	$1,6 \times 10^{-4}$ rad/s ($T=10,90$ jam)	$1,6 \times 10^{-4}$ rad/s ($T=10,90$ jam)
Amplitudo pasut 1	1×10^{-8} m	1×10^{-8} m
Amplitudo pasut 2	$0,5 \times 10^{-8}$ m	$0,5 \times 10^{-8}$ m

Tabel 2. Deviasi dari model yang akan diperbaiki dan asimilasi (LAE 840 dan 420) terhadap nilai acuan

	Skenario 1		Skenario 2	
	Iterasi maksimum	RMS (%)	Iterasi maksimum	RMS (%)
Model “yang akan diperbaiki”	LAE = 840	12,70	LAE = 420	29,48
Model asimilasi	NAE = 210	1,180	NAE = 105	0,623
	NAE = 420	0,139	NAE = 210	0,110
	NAE = 840	0,099	NAE = 420	0,494

Hasil asimilasi untuk amplitudo σ_1 dan σ_2 terlihat penurunan *rms error* seiring bertambahnya blok waktu, yaitu untuk NAE = 210, 420, dan 840. Hasil yang paling baik adalah *rms error*

amplitudo σ_1 nilainya adalah 0,0000 m/s untuk NAE sebesar 840, sedangkan untuk amplitudo σ_2 adalah sebesar 0,002 m/s. Peningkatan hasil analisis harmonik untuk pemisahan amplitudo yang

ditandai dengan penurunan nilai *rms error* terjadi hampir pada semua komponen. Nilai *rms error* amplitudo antara hasil model yang akan diperbaiki dengan hasil model acuan untuk σ_1 adalah 0,1075 m/det, sedangkan untuk (LAE=840) dengan hasil asimilasi dengan NAE sebesar 210, 420, dan 840 adalah 0,0125 m/det, 0,0007 m/det, dan 0,0000 m/det.

Hasil *rms* amplitudo untuk σ_1 antara model yang akan diperbaiki dengan hasil “model acuan” adalah 0,0440 m/det, sedangkan hasil dengan hasil asimilasi (LAE=840) dengan NAE sebesar 210, 420, dan 840 adalah 0,0219 m/det, 0,0050 m/det, dan 0,0002 m/det. Hasil tersebut cukup baik karena lebih kecil dari hasil model yang akan diperbaiki. Begitu pula untuk komponen σ_3 dan σ_4 diperoleh hasil *rms* model asimilasi yang lebih kecil dari model yang akan diperbaiki. Hasil *rms* untuk σ_3 yaitu sebesar 0,4299 m/det (NAE = 210), 0,0564 m/det (NAE = 420) dan 0,0008 m/det (NAE = 840). Hasil *rms* untuk σ_4 sebelum menerapkan asimilasi data adalah 1,4738 m/det, sedangkan setelah menerapkan asimilasi data adalah 0,6326 m/det (NAE = 210), 0,2952 m (NAE = 420) dan 0,0499 m/det (NAE = 840). Secara umum hasil tersebut sangat baik, yaitu dengan menerapkan asimilasi data pada model yang akan diperbaiki dapat mengurangi *rms error* secara signifikan berbanding lurus dengan iterasi maksimum yang digunakan.

Hasil analisis harmonik untuk fasa, dapat dilihat bahwa nilai *rms error* hasil asimilasi lebih kecil dari hasil yang akan diperbaiki untuk σ_1 dan σ_4 yaitu pada seluruh nilai NAE (Tabel 4). Hasil ini untuk σ_1 dari *rms* model yang akan diperbaiki sebesar 0,0224⁰ menjadi 0,0169⁰ (NAE = 210), 0,0176⁰ (NAE = 420), dan 0,0172⁰ (NAE = 840). Begitu pula untuk σ_3 diperoleh hasil yang cukup baik, dari *rms* model yang akan

diperbaiki sebesar 0,0447⁰ menjadi 0,0065⁰ (NAE = 210), 0,0112⁰ (NAE = 420), dan 0,0080⁰ (NAE = 840). Akan tetapi terdapat nilai *rms error* hasil asimilasi yang lebih besar dari model yang akan diperbaiki yaitu pada seluruh NAE untuk σ_2 yaitu sebesar 0,0120⁰ untuk hasil *rms* model yang akan diperbaiki, sedangkan hasil model asimilasi adalah 0,0140⁰ (NAE = 210), 0,0185⁰ (NAE = 420), dan 0,0193⁰ (NAE = 840). Begitu pula untuk komponen σ_4 diperoleh nilai yang kurang baik untuk NAE = 210 (0,4648⁰) dan NAE = 420 (0,4924⁰), akan tetapi terdapat hasil yang cukup baik pada NAE = 840 yaitu sebesar 0,1413⁰ yang lebih kecil dari *rms* model yang akan diperbaiki yaitu sebesar 0,1655⁰. Salah satu sebab nilai yang kurang baik ini kemungkinan disebabkan oleh sinyal komponen σ_4 sangat kecil jika dibandingkan dengan pasut parsial σ_1 dengan frekuensi yang berdekatan (*neighbouring frequency*). Fenomena ini juga sangat dipengaruhi oleh pemilihan nilai LAE atau blok waktu (*time window*), karena di sisi lain pemilihan blok waktu sebesar 840 (*complete beat period*) memberi hasil solusi asimilasi yang cukup “dekat” dengan hasil model “nilai acuan” untuk hasil amplitudo (Setiawan, 2007; Nodet, 2006).

Penggambaran hasil analisis harmonik untuk amplitudo sebagai hasil interaksi kedua komponen pasut (σ_1 , σ_2) dan hasil gabungannya ($\sigma_3 = 2\sigma_1 - \sigma_2$ (*compound tide*), $\sigma_4 = 3\sigma_1$ (*over tide*)) dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Secara umum dari Gambar 3 dan 4. dapat dilihat bahwa dengan menambah blok waktu (210, 420, dan 840) maka semakin memperkecil perbedaan dengan “nilai acuan”.

Hasil *rms* yang paling besar terjadi di semua grid adalah untuk σ_2 , σ_3 dan σ_4 (NAE = 210). Nilai NAE sebesar 210 merupakan nilai satu per empat dari total

blok waktu (LAE yaitu sebesar 840). Hasil asimilasi yang terbaik untuk amplitudo (Gambar 3. dan 4) adalah dengan menggunakan blok waktu NAE sebesar 840 nilai yang sama dengan blok waktu LAE. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan besar blok waktu untuk prosedur asimilasi (NAE) berkaitan dengan blok waktu total (LAE), ternyata sangat mempengaruhi *rms* hasil asimilasi.

Hasil analisis harmonik untuk fasa dengan menerapkan metoda asimilasi yang merupakan komponen *over* dan *compound tides* dapat dilihat pada Gambar 5. dan 6. Fasa hasil analisis harmonik untuk σ_1 dan σ_2 terlihat cukup baik untuk NAE 210, 420, dan 840 berimpit dengan hasil “model acuan”. Begitu pula untuk σ_3 hasil asimilasi untuk NAE sebesar 210, 420, dan 840

menunjukkan hasil yang sangat mendekati “model acuan” (Gambar 6).

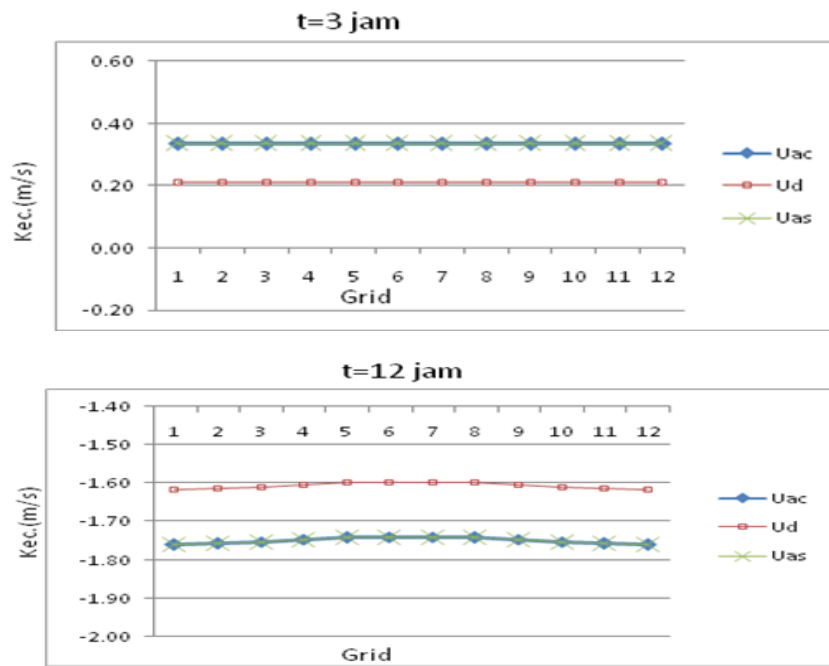
Hasil yang kurang baik terlihat pada komponen σ_4 pada NAE sebesar 210 dan 420. Nilai *rms* fasa hasil simulasi dengan menggunakan asimilasi data untuk σ_4 menunjukkan nilai fasa yang paling mendekati nilai “acuan” untuk NAE = 840. Hal ini dapat terjadi kemungkinan besar akibat sinyal komponen σ_4 adalah sangat kecil jika dibandingkan dengan pasut parsial σ_1 dengan frekuensi yang berdekatan (*neighbouring frequency*). Hasil ini juga menunjukkan pengaruh pemilihan blok waktu (LAE dan NAE) yang menentukan besarnya Δt dan cukup memiliki pengaruh dalam penentuan hasil pada prosedur asimilasi.

Tabel 3. *Rms error* amplitudo dari hasil simulasi

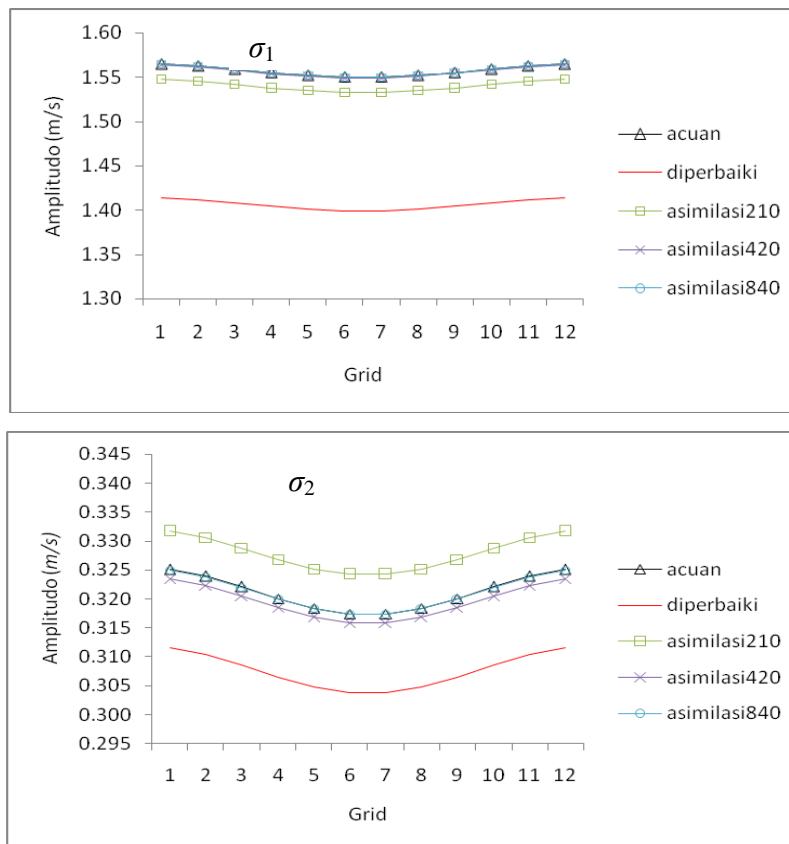
Amplitudo (m)				
Komponen	Model yang akan diperbaiki	Model asimilasi		
		NAE=210	NAE=420	NAE=840
σ_1	0,1075	0,0125	0,0007	0,0000
σ_2	0,0440	0,0219	0,0050	0,0002
$\sigma_3 = 2\sigma_1 - \sigma_2$	0,4593	0,4299	0,0564	0,0008
$\sigma_4 = 3\sigma_1$	1,4738	0,6326	0,2952	0,0499

Tabel 4. *Rms error* fasa dari hasil simulasi

Fasa ($^{\circ}$)				
Komponen	Model yang akan diperbaiki	Model asimilasi		
		NAE=210	NAE=420	NAE=840
σ_1	0,0224	0,0169	0,0176	0,0172
σ_2	0,0120	0,0140	0,0185	0,0192
$\sigma_3 = 2\sigma_1 - \sigma_2$	0,0447	0,0065	0,0112	0,0080
$\sigma_4 = 3\sigma_1$	0,1655	0,4648	0,4924	0,1413

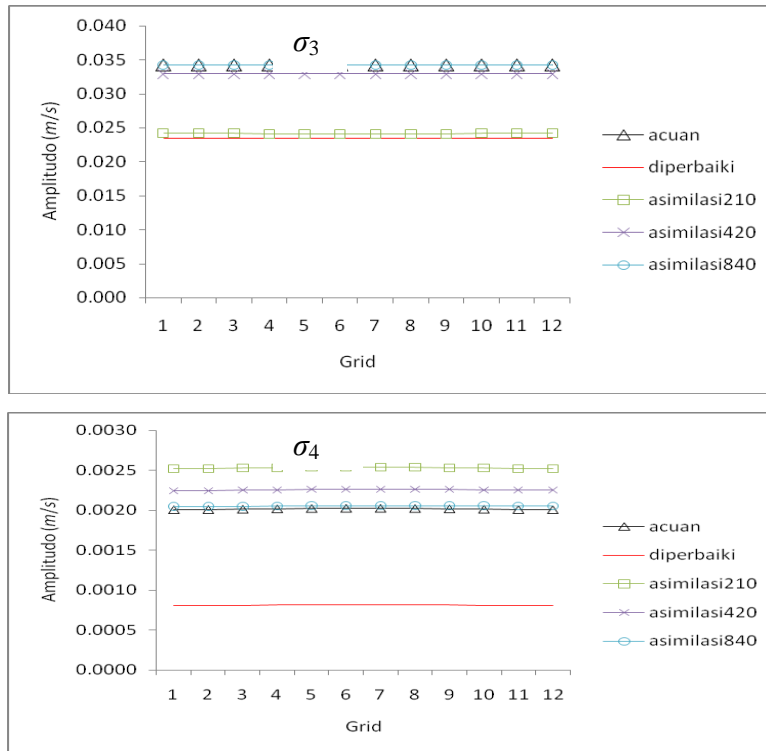


Gambar 2. Profil kecepatan terhadap ruang $t=3$ dan $t=12$ jam LAE=840, NAE=210

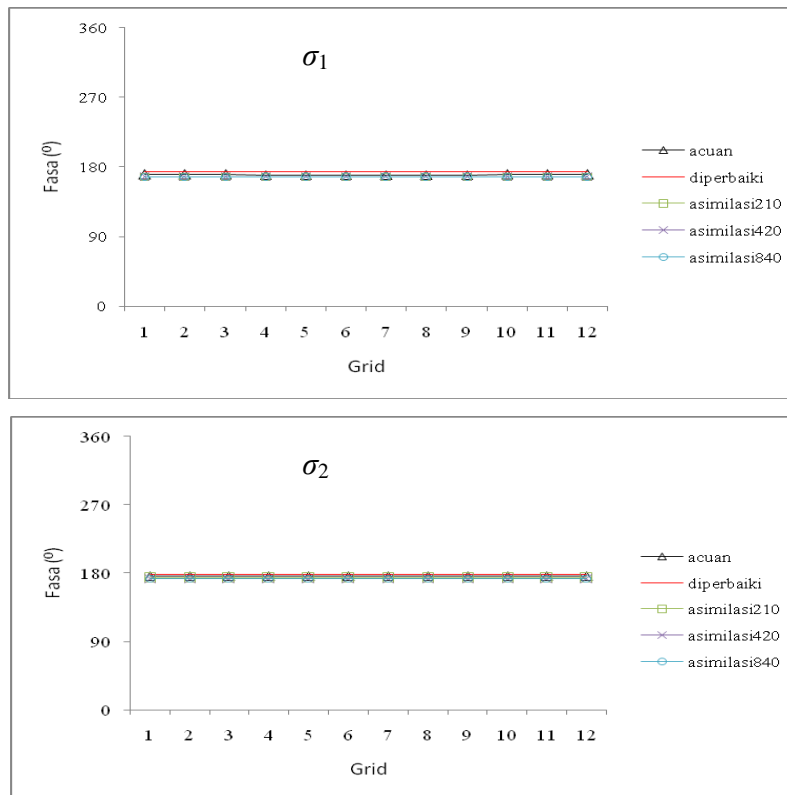


Gambar 3. Amplitudo hasil analisis harmonik untuk σ_1 dan σ_2

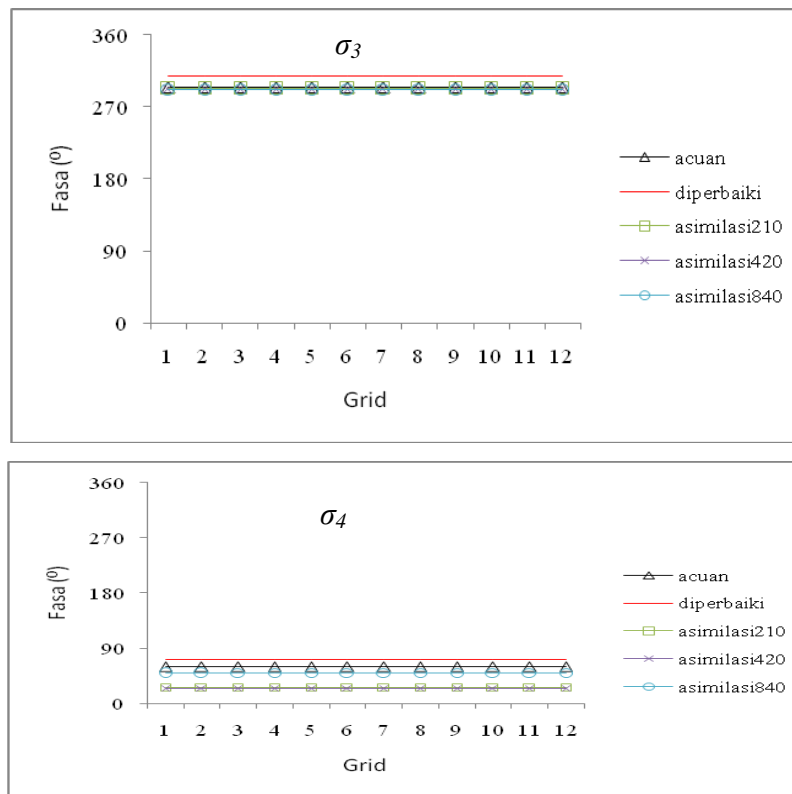
Studi Komponen Pasang Surut Perairan Dangkal...



Gambar 4. Amplitudo hasil analisis harmonik untuk σ_3 dan σ_4



Gambar 5. Fasa hasil analisis harmonik untuk σ_1 dan σ_2

Gambar 6. Fasa hasil analisis harmonik untuk σ_3 dan σ_4

IV. KESIMPULAN

Pemilihan jumlah iterasi maksimum mempengaruhi hasil asimilasi (LAE = 420 dengan rms = 29,48% dan LAE = 840 dengan rms = 12,70%). Pemilihan jumlah iterasi dalam asimilasi data mempengaruhi hasil (untuk LAE = 840, maka NAE = 210 rms = 1,18%, NAE = 420 rms = 0,319%, NAE = 840 rms = 0,099%). Penerapan metoda asimilasi data variasional dapat meningkatkan ketelitian hasil simulasi (tanpa asimilasi rms = 12,70% dengan asimilasi (LAE=840, NAE = 840 rms = 0,099%). Sebelum diterapkan asimilasi data, rms untuk σ_1 adalah 0,1075 m/det dan untuk σ_2 adalah 0,0440 m/det, sedangkan hasil setelah asimilasi untuk σ_1 (LAE=840) NAE 210, 420, dan 840 adalah sebesar 0,0125 m/det, 0,0007 m/det, dan 0,0000 m/det. Hasil untuk σ_2 (LAE=840) NAE 210, 420, dan 840

adalah 0,0129 m/det, 0,0050 m/det, dan 0,0002 m/det. Hasil fasa dari analisis harmonik untuk komponen σ_1 menunjukkan hasil yang cukup baik (LAE=840), rms antara hasil model “yang akan diperbaiki” dengan hasil model “acuan” adalah 0,0224⁰, dan setelah diterapkan metoda asimilasi diperoleh untuk NAE 210, 420, dan 840 adalah 0,0169⁰ m/det, 0,0176⁰ m/det, dan 0,0172⁰ m/det. Nilai rms amplitudo dan fasa secara umum setelah diterapkan metoda asimilasi lebih kecil, artinya nilainya lebih mendekati nilai acuannya (untuk σ_3 rms amplitudo sebelum diterapkan asimilasi adalah 0,4593 dan setelah diterapkan menjadi 0,0008, sedangkan untuk fasa sebelum diterapkan asimilasi sebesar 0,0447 menjadi 0,0080).

DAFTAR PUSTAKA

- Bouttier, F. dan P. Coutier. 1999. Data assimilation concepts and methods dalam <http://www.ecmwf.org/newsevents/training/rcourse>.
- Bowden, K.F. 1983. Physical oceanography of Coastal waters. Ellis Horwood series Marine science, Camelot Press Ltd., Southampton, Great Britain.
- Hadi, S. 1973. Studi Perambatan Pasang Nonlinier di Sungai Musi. Tugas Sarjana Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA, Institut Teknologi Bandung.
- Kagan, B.A. dan D.A. Romanenkov. 2007. Effect of the nonlinear interaction of tidal harmonics on their structure as applied to the system of the White and Barents Seas. *Atmospheric and Oceanic Physics*, 43(5):655-662.
- Kowalik, Z. dan T.S. Murty. 1993. Numerical modeling of ocean dynamics. World Scientific Publishing Co. Singapore.
- Mihardja, D.K. 1991. Energy and Momentum Budget of the tides in Indonesian waters. Institut für Meereskunde, Hamburg.
- Nodet, M. 2006. Variational assimilation of Lagrangian data in oceanography. *Inverse Problems*, 22:245-263.
- Parker, B.B. 1991. Tidal Hydrodynamics. Ed. Parker, B.B. National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, Rockville, Maryland. John Wiley & Sons, Inc.
- Pugh, D.T. 1987. Tides, surges, and mean sea level. A handbook for engineer and scientist. Natural Environment Research Council Swindon, UK.
- Ramming, H.G. dan Z. Kowalik. 1980. Numerical Modelling of Marine Hydrodynamics, Application to dynamic physical processes. Elsevier Scientific Publishing Co.
- Setiawan, A. 2007. Modelling over-and compound tides of the Irish and Celtic Seas using variational data assimilation methods. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der naturwissenschaften im Department Geowissenschaften der Universität Hamburg.
- Ray, R.D., G.D. Egbert, and S.Y. Erofeeva. 2005. A brief overview of tide in the Indonesian Seas. *Oceanography*, 18(4):74-79.
- Robertson, R. dan A. Field. 2005. M₂ Baroclinic Tides in the Indonesian Seas. *Oceanography*, 18(4): 62-73.
- Torre, R.C. 1999. On the application of data assimilation in regional coastal models. Dissertation Delft University of Technology, Delft.