

VALIDASI GEOID EGM2008 DI JAWA DAN SUMATRA DENGAN MENGGUNAKAN PARAMETER MEAN DYNAMIC TOPOGRAPHY (MDT) PADA GEOID GEOMETRIS

(Geoid EGM2008 Validation in Java and Sumatra Using Mean Dynamic Topography (MDT) on Geometric Geoid)

Dyah Pangastuti dan Ibnu Sofian

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta - Bogor Km. 46, Cibinong 16911

E-mail:dyah.pangastuti@big.go.id

Diterima (received): 10 Januari 2015; Direvisi (revised): 18 April 2015; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 28 Mei 2015

ABSTRAK

Kebutuhan akan datum vertikal yang akurat di Pulau Jawa dan Pulau Sumatra sangat mendesak karena pada kedua pulau tersebut banyak dilakukan pembangunan infrastruktur. Saat ini referensi tinggi yang tersedia di Pulau Jawa dan Sumatra adalah geoid EGM2008 (Pavlis dkk, 2008). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan ketelitian geoid EGM2008 di Pulau Jawa dan Sumatra dengan menggunakan data hasil model laut. Sementara itu, hasil penelitian terdahulu (Ramdani, 2013) menunjukkan bahwa geoid EGM2008 di Pulau Jawa dan Sumatra memiliki ketelitian 89,8 cm dan 33,4 cm. Hasil validasi ini diperoleh dari asumsi bahwa mean sea level (MSL) berhimpit dengan geoid. Pada kenyataannya geoid tidak berhimpit dengan MSL. Validasi geoid EGM2008 yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan mean dynamic topography (MDT) sebagai salah satu parameter pada penghitungan geoid geometris. MDT yang digunakan adalah hasil simulasi dari asimilasi altimetri dan HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM). Berdasarkan hasil penelitian, dengan memasukkan parameter MDT pada penghitungan geoid geometris dan melakukan fitting terhadap jaring kontrol vertikal (JKV), diperoleh ketelitian geoid EGM2008 di Jawa dan Sumatra meningkat menjadi 5,6 cm dan 4,4 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa geoid EGM2008 sudah mencukupi untuk pemetaan skala besar dan menengah.

Kata kunci:MDT, Geoid, HYCOM, EGM2008

ABSTRACT

Due to the rapid infrastructure development in Java and Sumatra islands, accurate vertical reference is required. Until now, EGM2008 is the only geoid available as the vertical reference that used in Java and Sumatra (Pavlis et al, 2008). The purpose of this research is to investigate the accuracy of the EGM2008 by using ocean model. On the other hands, the previous research results (Ramdani, 2013) shows that the accuracy of geoid EGM2008 are 89.8 cm and 33.4 cm for Java and Sumatra Islands, respectively. That accuracies were calculated using the comparison between EGM2008 and geometric geoid with assumption that mean sea level (MSL) coincides with geoid. In fact, geoid does not always coincide with the MSL. Therefore, validation of the EGM2008 in this research was conducted by introducing parameter of mean dynamic topography (MDT) in order to calculate the geoid geometric. The MDT was obtained from simulation of assimilated data between altimetry and HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM).The result of this research shows the geometric geoid calculation by including the MDT in Java and Sumatra Islands could increase the accuracy of EGM2008 by 5.6 cm and 4.4 cm in Java and Sumatra Islands, respectively, after fitting it into the vertical control network (JKV). Based on the spatial resolution and its accuracies, it can be concluded that geoid EGM2008 is adequate to be used as reference on large and medium scale mapping.

Keywords: MDT, Geoid, Hycom, EGM2008

PENDAHULUAN

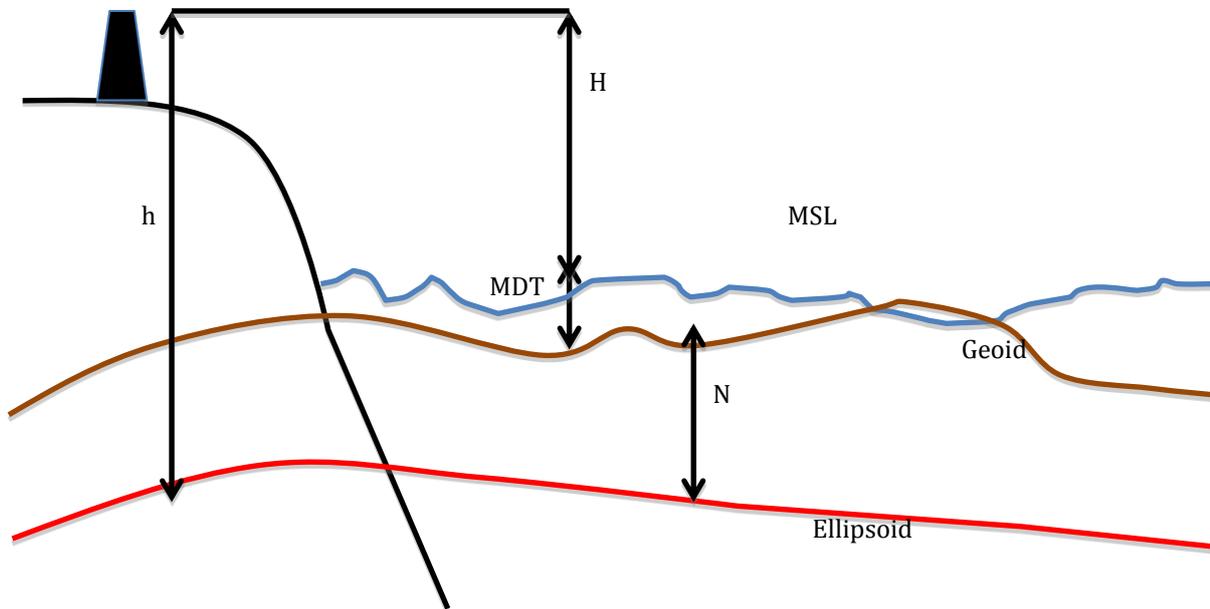
Sejak diluncurkannya Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI2013), datum vertikal yang digunakan di Indonesia adalah geoid (BIG, 2013). Geoid menggantikan MSL sebagai datum vertikal karena mean sea level (MSL) dipengaruhi oleh faktor lokal seperti pengaruh meteorologi, oseanografi, hidrologi, eustatik, dan

astronomik (Yunianto *et al.*, 2004). Pengaruh ini yang menyebabkan MSL di suatu wilayah dan di wilayah lainnya tidak terletak di bidang equipotensial yang sama sehingga tidak dapat dilakukan unifikasi (Yunianto & Widada, 2004). Hal ini pun telah dibuktikan oleh Woodworth *et al.* (2012) dalam penelitiannya di Pantai Kanada dan Laut Atlantik.

Geoid adalah bidang equipotensial yang paling berhimpit dengan MSL (Li & Gotze, 2001). Geoid

dapat diperoleh melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan geometris dan pendekatan gravimetris dengan menggunakan data gayaberat. Model geoid yang digunakan untuk datum vertikal adalah model geoid yang diperoleh melalui pendekatan

gravimetris yang kemudian divalidasi oleh model geoid geometris. **Gambar 1** menunjukkan geoid geometris yang ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 1**.



Gambar 1. Model Geoid Datum Vertikal.

$$N = h - H - \text{MDT} \dots\dots\dots(1)$$

dimana

- N = undulasi geoid,
- h = tinggi terhadap ellipsoid, dan
- H = tinggi terhadap MSL, dan
- MDT = tinggi MSL terhadap geoid.

Dengan diberlakukannya SRGI2013, maka model geoid harus tersedia di seluruh wilayah Indonesia. Data gayaberat yang rapat di seluruh wilayah Indonesia diperlukan untuk memodelkan geoid Indonesia. Data gayaberat yang cukup rapat hanya tersedia di Pulau Kalimantan, Sulawesi, dan Papua dari hasil pengukuran *airborne gravity*. Sedangkan untuk Pulau Jawa dan Pulau Sumatra, geoid yang tersedia hanya geoid global EGM2008. Ramdani (2013) dalam penelitiannya menghitung ketelitian geoid EGM2008 di Pulau Jawa dan Sumatra adalah 89,8 cm dan 33,4 cm. Ketelitian geoid ini tidak cukup untuk mendukung pemetaan Rupabumi skala 1:1.000 dan untuk pembangunan infrastruktur yang membutuhkan datum vertikal berketelitian tinggi. Dalam penelitiannya tersebut, Ramdani memvalidasi geoid EGM2008 dengan menggunakan geoid geometris tanpa memperhitungkan parameter MDT di dalamnya.

Sedangkan pada kenyataannya, geoid tidak berhimpit dengan MSL, seperti yang dibuktikan oleh Janssen dan Watson (2011) pada penelitiannya terhadap datum vertikal Australia, AHD71. Janssen dan Watson (2011) menemukan bahwa geoid dan MSL yang diperoleh dari 32 stasiun pasang surut di

Australia tidak berhimpit. Oleh karena itu, penghitungan geoid geometris yang selama ini digunakan untuk melakukan validasi terhadap geoid EGM2008 harus dikoreksi terlebih dahulu dengan nilai MDT.

Validasi geoid dengan menggunakan nilai MDT telah dilakukan oleh Woodworth *et al.* (2012). Mereka membandingkan MDT melalui pendekatan geodetik dan di pesisir Samudera Atlantik dan Pasifik serta di Eropa. MDT geodetik yang digunakan dalam penelitiannya adalah menggunakan model geoid GOCO03s dan extended GOCO03s. Sementara itu untuk MDT oseanografi, Mereka menggunakan MDT dari Liverpool-MIT. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kualitas MDT yang dihasilkan melalui pendekatan geodetik sangat dipengaruhi oleh model geoid yang digunakan. Jika model geoid yang digunakan berkualitas bagus, maka MDT yang dihasilkan akan bagus, begitu pula sebaliknya.

Sementara itu, Woodworth *et al.* (2013) membandingkan beberapa model MDT yang dihasilkan melalui pendekatan oseanografi, dan hasilnya model-model MDT yang dihasilkan melalui pendekatan oseanografi memiliki kualitas yang hampir sama dan lebih konsisten dibandingkan dengan MDT geodetik. Dengan hasil penelitian tersebut, maka disimpulkan bahwa MDT oseanografi dapat digunakan untuk melakukan validasi terhadap geoid yang dimodelkan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ketelitian geoid EGM2008 di Pulau Sumatra dan Pulau Jawa. Ruang lingkup penelitian

ini adalah validasi geoid EGM2008 dengan menggunakan geoid geometris yang telah dikoreksi dengan nilai MDT.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi geoid EGM2008, data pasut, data pengukuran GPS dan leveling dari BM pasut ke rambu ukur pasut. Sementara metode yang digunakan adalah model laut *Hybrid Coordinate Ocean Model* untuk mendapatkan MDT *ocean model*.

$$\Delta g_{GGM}(\phi, \lambda, r) = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{N_{Max}} (n-1) \left(\frac{a}{r}\right)^n \times \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin\phi) \dots\dots\dots (2)$$

$$N_{GGM}(\phi, \lambda, r) = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{N_{Max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n \times \sum_{m=0}^n (\Delta C_{nm} \cos m\lambda + \Delta S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin\phi) \dots\dots\dots (3)$$

- dimana:
- (ϕ, λ, r) = koordinat spherical pada titik P
- ΔC_{nm} = koefisien geopotensial
- S_{nm} = koefisien geopotensial
- GM = konstanta gravitasi, a adalah semi mayor *axis ellipsoid*
- P_{nm} = fungsi Legendre
- γ = gayaberat normal
- N_{Max} = derajat maksimum dari model geopotensial

Model geopotensial global yang digunakan pada penelitian ini adalah EGM2008. Secara umum, EGM2008 memiliki derajat dan orde maksimal 2160 dengan beberapa tambahan mencapai 2190 atau setara dengan 4.670.000 koefisien harmonik (Pavlis *et al.*, 2008). EGM2008 dikembangkan oleh USA *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA). Selanjutnya, EGM2008 dihitung dengan mengombinasikan data gayaberat terestris dengan data gayaberat dari satelit GRACE. Data gayaberat yang digunakan dalam EGM2008 memiliki resolusi 5' bujur dan lintang 5'. Gambar distribusi spasial EGM2008 di Pulau Sumatra dan Pulau Jawa pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

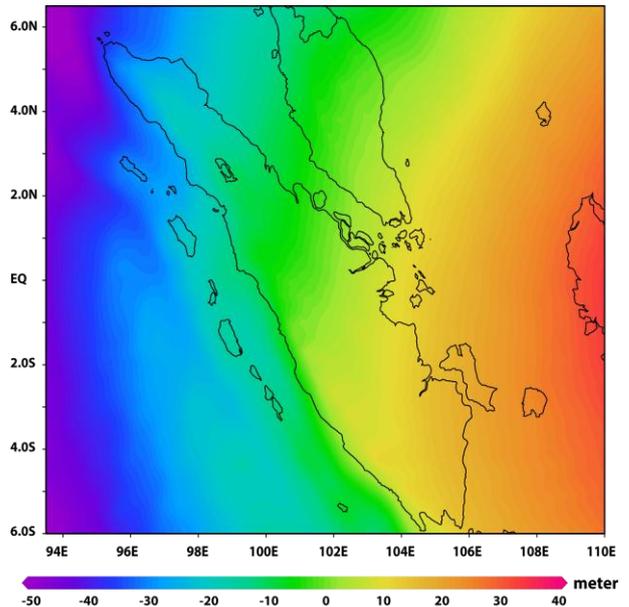
Secara umum, undulasi geoid di Pulau Sumatra dan Pulau Jawa adalah rendah di wilayah barat dan tinggi di sebelah timur. Geoid terendah di Sumatra - 35 m dan tertinggi mencapai 23 m di Sumatra sebelah selatan khususnya Lampung. Sementara itu, undulasi geoid di Jawa berkisar antara 12 m sampai lebih dari 40 m, dengan nilai undulasi tertinggi di Jawa bagian timur. Tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara Jawa bagian utara dan selatan, meskipun terlihat bahwa di daerah Jawa bagian tengah dengan elevasi tinggi, undulasi geoid cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan daerah dengan elevasi rendah di sekitar pantai, baik pantai selatan maupun pantai utara Jawa.

Untuk mendapatkan MDT geodetik dibutuhkan data pasang surut, data GPS, data pengukuran sipat datar dari *benchmark* (BM) stasiun pasang surut ke rambu ukur pasang surut (palem). Pengukuran GPS dilakukan di (BM) stasiun pasang surut pada tahun 2013 dengan metode *static differential* dengan lama pengamatan 24 jam atau lebih dengan interval epoch 30 detik (BIG, 2013). Data pengukuran selanjutnya diolah dengan menggunakan *software*

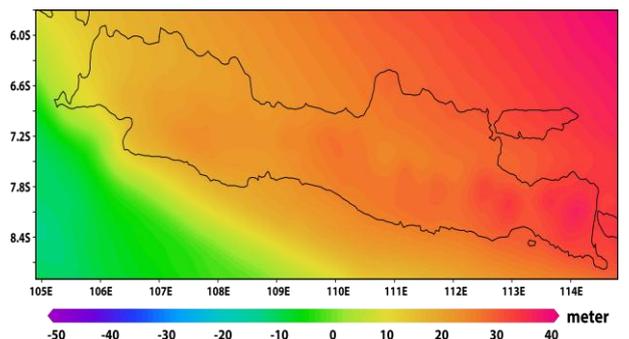
Data EGM2008

Model Geopotensial global biasanya terdiri dari kumpulan koefisien harmonik dari derajat terendah, yaitu 2 hingga tertinggi (Catalao & Sevilla, 2009). Kita dapat memiliki nilai anomali gayaberat σg dan undulasi geoid N dari suatu titik dari model geopotensial global dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2** dan **Persamaan 3** dari Heiskanen dan Moritz (1967).

dari Leica. Hasil pengolahan data GPS adalah koordinat horizontal dan ketinggian BM stasiun pasang surut terhadap ellipsoid.



Gambar 2. Geoid EGM2008 Pulau Sumatra.

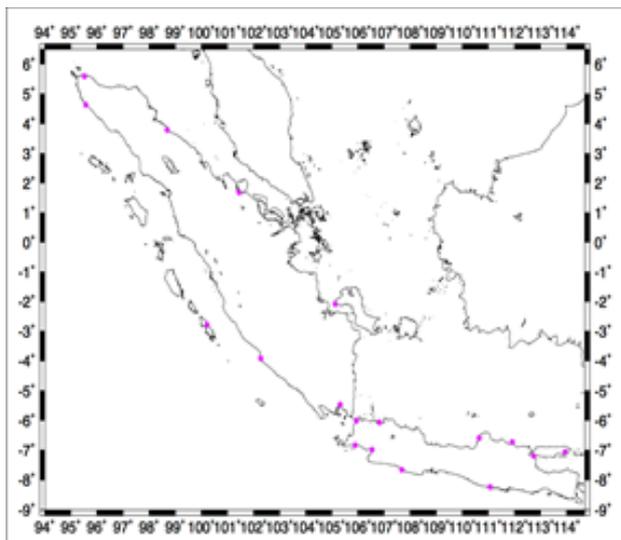


Gambar 3. Geoid EGM2008 Pulau Jawa.

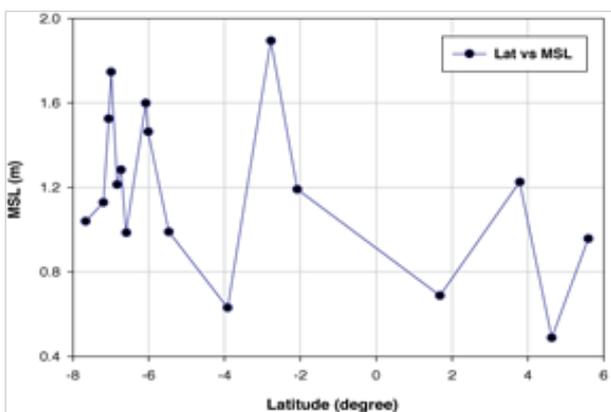
GPS, Data Pasut dan Levelling

Pengukuran sipat datar dilakukan dari palem pasang surut ke BM pada tahun 2013 dengan metode *double stand* pergi pulang. Hasil pengukuran sipat datar adalah beda tinggi antara palem dengan BM pasang surut.

Data pasang surut yang digunakan pada penelitian ini adalah data observasi tahun 2013-2014 dari 19 stasiun pasang surut permanen yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Sebaran stasiun pasang surut yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4**. Dari 19 data pasang surut tahun 2013-2014 diperoleh 19 nilai MSL seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Sebaran stasiun pasang surut yang digunakan untuk validasi EGM2008 di Pulau Jawa dan Pulau Sumatra.



Gambar 5. MSL Di Stasiun Pasang Surut Sumatra dan Jawa.

Hybrid Coordinate Ocean Model dan MDT Ocean Model

The Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) adalah model numerik yang berbasis koordinat *isopycnic* di laut terbuka, kemudian berangsur kembali ke koordinat sigma di wilayah pantai dan di wilayah punggungan, lalu menjadi koordinat linier di perairan dangkal dan perairan yang homogen (Lopes & Harari, 2012).

Sofian (2013) membuat *ocean model* di wilayah Indonesia. Data klimatologi bulanan dari *The World Ocean Atlas (WOA) 1998* yang mengandung data salinitas dan suhu digunakan dalam pemodelan sirkulasi laut. Untuk simulasi sirkulasi laut, model dibentuk oleh gelombang panjang dan pendek dari radiasi dan curah hujan. Model *Sea Surface Temperature (SST)* terbentuk dari SST harian. Sedangkan untuk kecepatan dan tegangan angin, masing-masing diperoleh dari *National Center Environmental Prediction (NCEP) Wind Stresses, Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS)*, dan *Navy Global Environmental Model (NAVEM)* dari tahun 1993 hingga 2002, 2003 hingga 2012 dan 2013. Near global HYCOM dibuat dengan luasan area 0° E hingga 360° E dan 75°S hingga 75°N dengan resolusi bujur 0.2° dan resolusi lintang 0.1667°. Detil konfigurasi model dapat dilihat pada **Tabel 1**.

MDT Ocean Model

MDT adalah perbedaan antara MSL dengan geoid (Woodworth *et al.*, 2012), di mana pada penelitian ini geoid yang digunakan adalah geoid EGM2008. Hubungan antara ellipsoid, MSL, geoid, dan MDT diilustrasikan pada **Gambar 1**. MDT di pantai dapat ditentukan melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan geodetik dan pendekatan dengan menggunakan *ocean model* (Woodworth *et al.*, 2012). Sehingga, nilai MDT melalui pendekatan geodetik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Secara umum hasil *spirit levelling* atau survei konvensional mempunyai pola yang berlainan dengan hasil yang diperoleh *ocean model*. Hal ini disebabkan karena *levelling* hanya mengacu terhadap 1 (satu) titik stasiun pasut. Dengan demikian terjadi kesalahan hasil pengukuran tinggi, yang ditandai dengan perubahan MSL yang sangat drastis dari Amerika ke Kanada baik di pesisir barat dan timur Amerika dan Kanada. Setelah dilakukan pengukuran ulang dengan menggunakan teknologi yang lebih presisi yaitu GPS, didapatkan bahwa pola MSL *ocean model* dan hasil pengukuran GPS mempunyai pola yang sama dengan *offset* sekitar 70 cm.

Sementara itu untuk menentukan MDT dengan menggunakan *ocean model*, data yang digunakan adalah *sea surface height (SSH)* hasil pemodelan laut. Nilai SSH kemudian dirata-ratakan menghasilkan MSL. Woodworth *et al.*, (2012) menemukan rata-rata selisih antara MDT geodetik dan MDT *ocean model* adalah 70 cm, baik di pesisir Samudera Pasifik, Atlantik dan Eropa. Validasi terhadap HYCOM juga dilakukan terhadap daerah yang sama. HYCOM juga memiliki nilai selisih antara MDT geodetik dengan MDT *ocean model* sebesar 70 cm di Laut Atlantik, Laut Pasifik, dan di Eropa pada **Gambar 6**. Oleh karena itu pada penelitian ini, nilai MSL yang diperoleh melalui *ocean model* ditambahkan 70 cm, sehingga nilai *MSL ocean model* pada penelitian ini sudah mengacu kepada geoid. Selanjutnya, pola nilai MDT

Ocean model dari HYCOM di Sumatra dan Jawa pada **Gambar 7**.

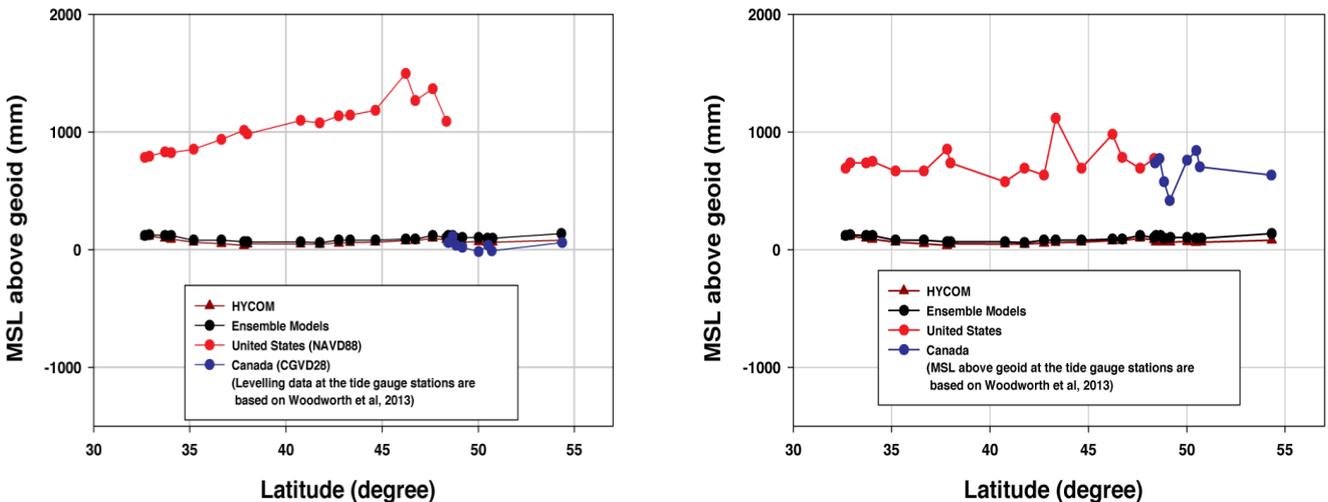
Disamping validasi dengan menggunakan data di Amerika dan Eropa, hasil HYCOM divalidasi dengan menggunakan data pasang surut hasil observasi dari beberapa stasiun pasang surut. Penelitian ini menggunakan data pasang surut dari 19 stasiun pasang surut di Sumatra dan Jawa selama 1 tahun, yaitu tahun 2013. Dari 19 stasiun pasang surut, 17 stasiun memiliki korelasi 0.6-0.9, yang artinya ocean model hycom di 17 lokasi tersebut memiliki pola yang sama dengan data observasi pasang surut. Sedangkan 2 lokasi lainnya, yaitu Semarang dan Pacitan memiliki nilai korelasi yang rendah, yaitu 0.28 dan 0.44. Hal tersebut

disebabkan oleh data observasi pasang surut yang tidak tepat karena faktor pendangkalan dan kesalahan alat. Oleh karena itu, 2 stasiun pasang surut yang memiliki korelasi rendah tersebut tidak diikutsertakan lagi pada validasi geoid EGM2008.

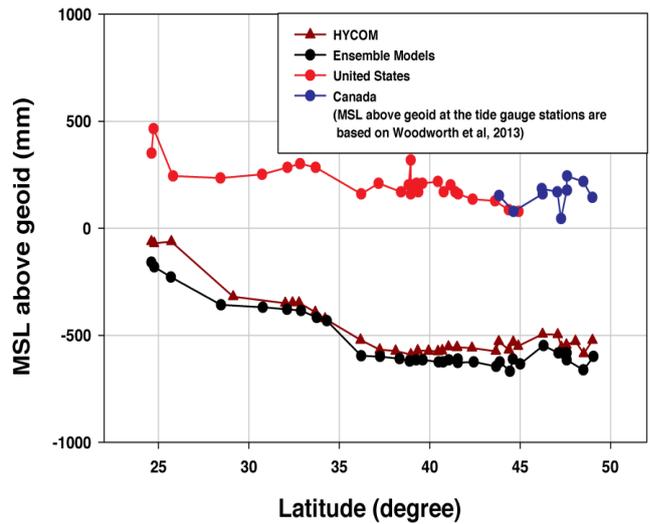
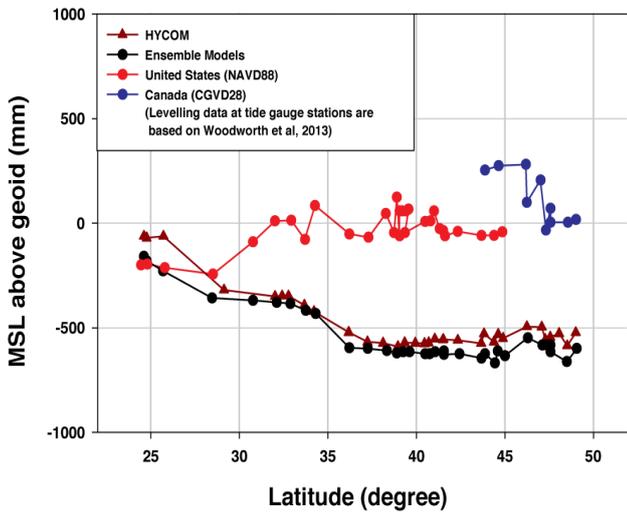
Hasil validasi ini menunjukkan bahwa ocean model HYCOM yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketelitian sekitar 4-8 cm dan dapat digunakan untuk memvalidasi geoid EGM2008. Nilai SSH harian selama 21 tahun yang diperoleh dari ocean model HYCOM kemudian dirata-ratakan menjadi MSL. Nilai MSL kemudian ditambahkan 70 cm, yaitu dari hasil penelitian Woodworth *et al.* (2012), menghasilkan MDT ocean model.

Tabel 1. Konfigurasi ocean model (Sofian, 2013).

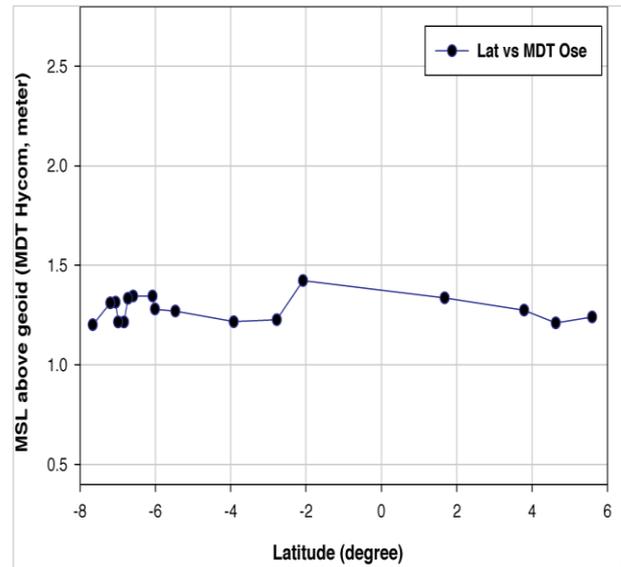
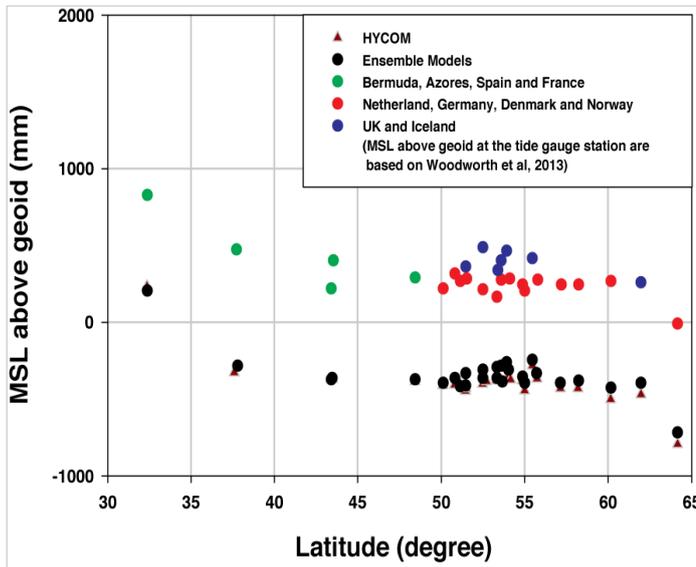
No	Parameter	Description	Comments
1	Geographical area	Near Global	
2	Operational mode	Hind-cast	
3	Model run	from 1 January 1993 to 2013 of Ocean Reanalysis	
4	Nesting conditions	off	
5	Grid size	2160 x 900	Domain name (GLBa0.16)
6	Spatial resolutions	0.1667 degree Lat/Lon	
7	Layer	22 layers Sigma-0	
8	Time step baroclinic	600 seconds	
9	Time step barotropic	30 seconds	
10	Relaxation	Off	
11	Initial	WOA 1998	
11	Forcing fields	NCEP reanalysis II	Daily
12	Topography	ETOPO 2	
13	Vertical mixing model	KPP	
14	Tidal forcing	Off	
15	River forcing	Off	
16	SST forcing	Assimilated with NOAA high resolution daily SST	Daily
17	SSH	Free run and assimilated with altimeter ADT for the ocean reanalysis	Daily



Gambar 6a. Levelling, survei GPS dan hasil ocean model di pantai barat Amerika dan Kanada yang berbatasan dengan Samudera Pasifik.



Gambar 6b. Levelling, survei GPS dan hasil ocean model di pantai timur Amerika dan Kanada yang berbatasan dengan Samudera Atlantik.



Gambar 6c. Hasil Survei GPS dan ocean model di Eropa.

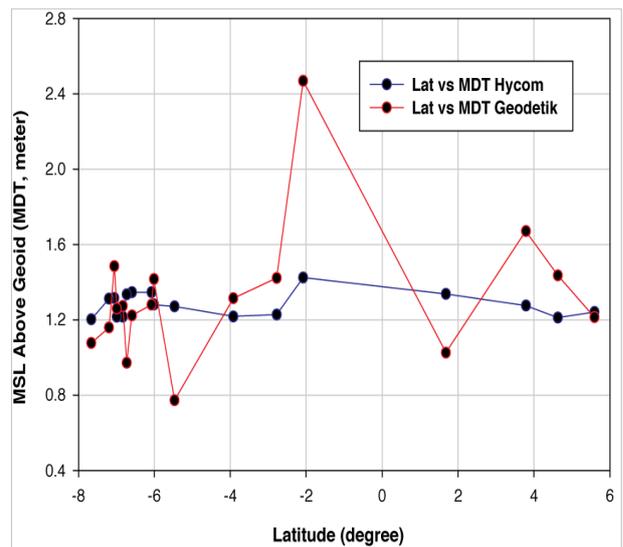
Gambar 7. MDT Ocean Model HYCOM di Sumatra dan Jawa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

MDT Geodetik, Ocean Model dan Validasi EGM2008

Perbandingan MDT geodetik dan MDT ocean model dapat dilihat pada Gambar 8 dan hasil analisa statistiknya dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Gambar 8, MDT geodetik memiliki pola yang sama dengan MDT ocean model, namun MDT ocean model cenderung tidak berubah secara signifikan dibandingkan MDT geodetik.

Terlihat juga perbedaan lebih dari 1 m di daerah Bangka, meskipun di daerah lainnya perbedaannya hanya berkisar dari 4 cm sampai 49 cm. Tingginya perbedaan MDT geodetik dan ocean model, hanya bisa disebabkan oleh over-estimasi hasil rata-rata MSL dari stasiun pasut, dan hasil model laut yang mungkin terlalu rendah. Hal ini mungkin saja disebabkan oleh rendahnya resolusi



Gambar 8. MDT Geodetik dan Ocean Model di Sumatra dan Jawa.

Tabel 2. Hasil analisa komparatif antara MDT Geodetik dan *Ocean Model* di Sumatra dan Jawa.

No	Nama Stasiun	MDT Geodetik (meter)	MDT Oseanografi (Hycom)	Selisih MDT (α)
1.	Pameungpeuk	1,08	1,20	-0,12
2.	Surabaya	1,16	1,31	-0,15
3.	Kalianget	1,48	1,31	0,17
4.	Pelabuhan Ratu	1,26	1,21	0,04
5.	Binuangun	1,27	1,21	0,06
6.	Tuban	0,97	1,33	-0,36
7.	Jepara	1,22	1,34	-0,12
8.	Sunda Kelapa	1,28	1,35	-0,07
9.	Ciwandan	1,41	1,28	0,14
10.	Panjang	0,77	1,27	-0,50
11.	P. Baai	1,31	1,22	0,10
12.	Sikakap	1,42	1,23	0,19
13.	Bangka	2,47	1,42	1,04
14.	Dumai	1,02	1,34	-0,31
15.	Belawan	1,67	1,27	0,40
16.	Calang	1,43	1,21	0,22
17.	Malahayati	1,21	1,24	-0,03
	Rata-rata			0,04
	Standar Deviasi			0,345
	RMS			0,337

spasial dari model laut yang digunakan. Meskipun hasil HYCOM mempunyai akurasi dan korelasi yang tinggi di daerah Eropa kepulauan seperti Inggris, Bermuda dan Iceland seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6c**. Selanjutnya detil hasil analisa komparatif antara MDT *ocean model* dan geodetik dapat dilihat pada **Tabel 2**. Berdasarkan **Tabel 2**, rata-rata selisih antara MDT geodetik dan MDT *ocean model* adalah 4 cm. Artinya, nilai MDT *ocean model* yang digunakan pada penelitian ini tidak perlu dikoreksi lagi dengan sebuah angka konstanta. Hal ini juga sekaligus membuktikan penelitian Wodworth *et al.*, (2012) yang mengatakan selisih antara MDT geodetik dengan MDT *ocean model* adalah 70 cm bersifat umum dan dapat juga digunakan di perairan laut dangkal.

Validasi geoid EGM2008 dilakukan dengan menggunakan geoid geometris. Geoid geometris dapat diperoleh melalui **Persamaan (1)** dengan tidak menggunakan nilai MDT ($MDT=0$) dan dengan menggunakan nilai MDT. Hasil analisa komparatif antara berbagai data geoid ditunjukkan pada **Gambar 9a** dan **Gambar 9b**, untuk Pulau Jawa dan Sumatra. Dari **Gambar 9**, didapatkan bahwa data EGM2008 di Pulau Jawa relatif lebih baik dibandingkan dengan di Pulau Sumatra. Dengan memasukkan data MDT sebagai parameter dalam perhitungan akurasi geoid, didapatkan bahwa EGM2008 di Jawa mempunyai akurasi antara 4 cm sampai 49 cm. Sementara di Sumatra, EGM2008 mempunyai akurasi 45,9 cm. Selanjutnya, selisih EGM2008 dengan geoid geometris di Jawa memiliki RMS 0,169, lebih kecil dibandingkan jika tidak memasukkan nilai MDT yaitu 1.265. Hal ini menunjukkan bahwa geoid EGM2008 memiliki ketelitian 16,9 cm jika divalidasi dengan menggunakan geoid geometris yang menggunakan nilai MDT. Sebaliknya EGM2008 akan terlihat seolah-olah memiliki ketelitian 1,26 m jika divalidasi

dengan menggunakan geoid geometris yang tidak menggunakan nilai MDT.

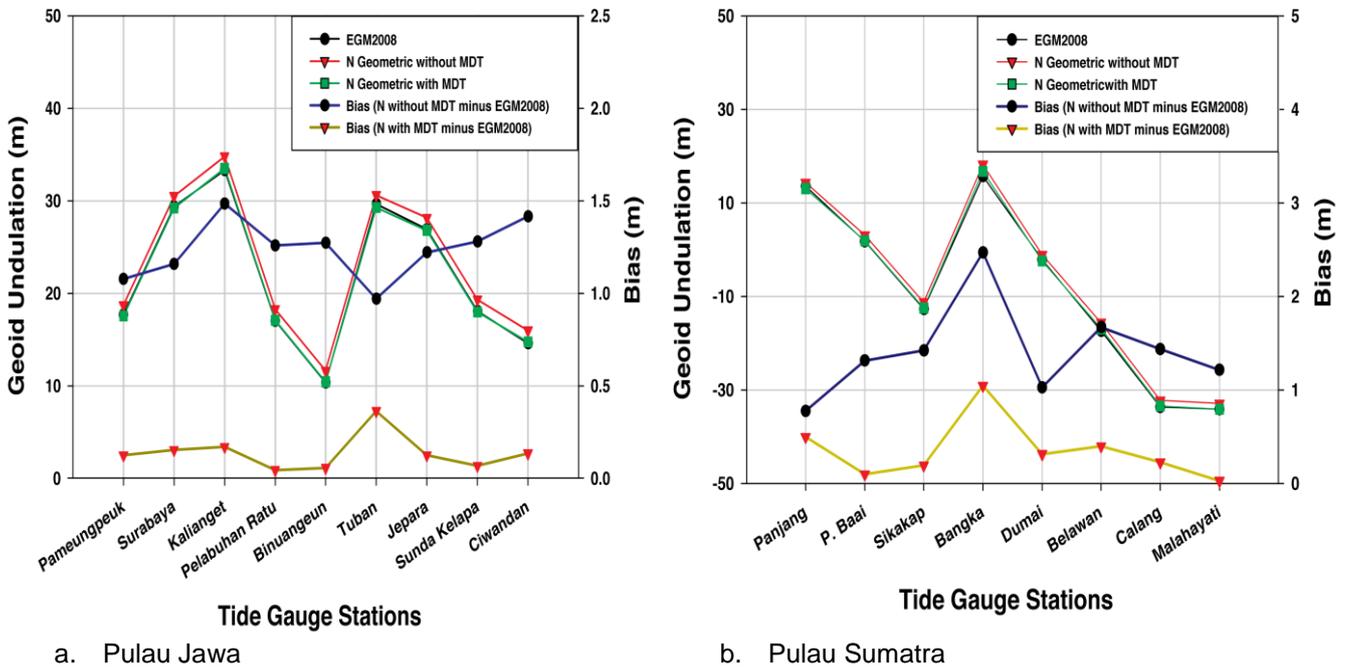
Sementara itu untuk wilayah Sumatra, RMS selisih antara geoid EGM2008 dan geoid geometris yang tidak menggunakan MDT adalah 1,491 m. Sedangkan RMS selisih antara geoid EGM2008 dan geoid geometris yang menggunakan MDT adalah 0,459 m. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa membandingkan data EGM2008 tanpa menggunakan MDT akan menurunkan akurasi data geoid terutama EGM2008 yang akan digunakan sebagai referensi sistem tinggi dalam pemetaan.

Geoid Fitting

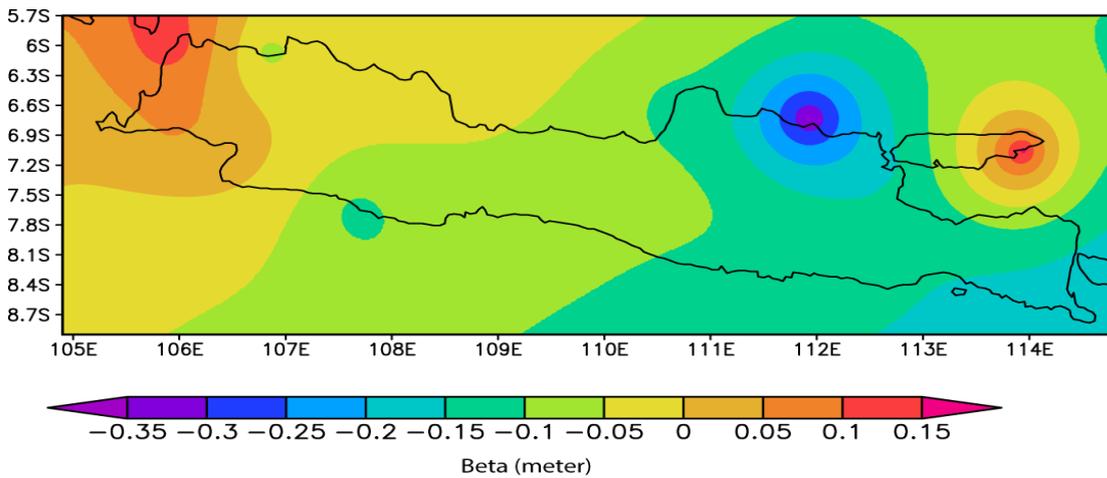
Geoid EGM2008 merupakan geoid yang masih mengacu pada bidang global. Agar geoid EGM2008 dapat mengacu pada jaring kontrol vertikal (JKV) di Indonesia, maka geoid EGM2008 harus di-*fitting*-kan terhadap JKV, di mana pada penelitian ini JKV yang digunakan untuk *fitting* adalah 17 BM stasiun pasang surut. Fitting geoid EGM2008 dilakukan dengan melakukan *offset* sebesar selisih antara geoid geometris dengan geoid EGM2008 (selanjutnya akan disebut beta). Oleh karena itu sebelum melakukan *fitting*, dilakukan interpolasi beta untuk wilayah Jawa dan Sumatra. Interpolasi beta dilakukan per pulau dengan menggunakan *spline* dengan *tension*. Interpolasi *spline* baik digunakan pada daerah yang berbukit rapat hingga berbukit jarang (Kun Cahyono, 2009). Interpolasi yang digunakan menggunakan algoritma *gridding tension continuous curvature surface*. Besaran *tension* yang digunakan adalah 0,25 untuk mendapatkan hasil interpolasi yang baik, namun juga terhindar dari osilasi yang tidak diinginkan (Smith dan Wessel, 1990). Data masukan untuk menginterpolasi beta di Pulau Jawa berjumlah 9 titik dan di Pulau Sumatra 8 titik dengan sebaran yang

dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil interpolasi beta untuk Pulau Jawa dan Sumatra ditunjukkan oleh **Gambar 10** dan **Gambar 11**. Perbaikan akurasi

geoid EGM2008 dengan membandingkan model geoid sebelum dan setelah *fitting* ditunjukkan pada **Tabel 3**.



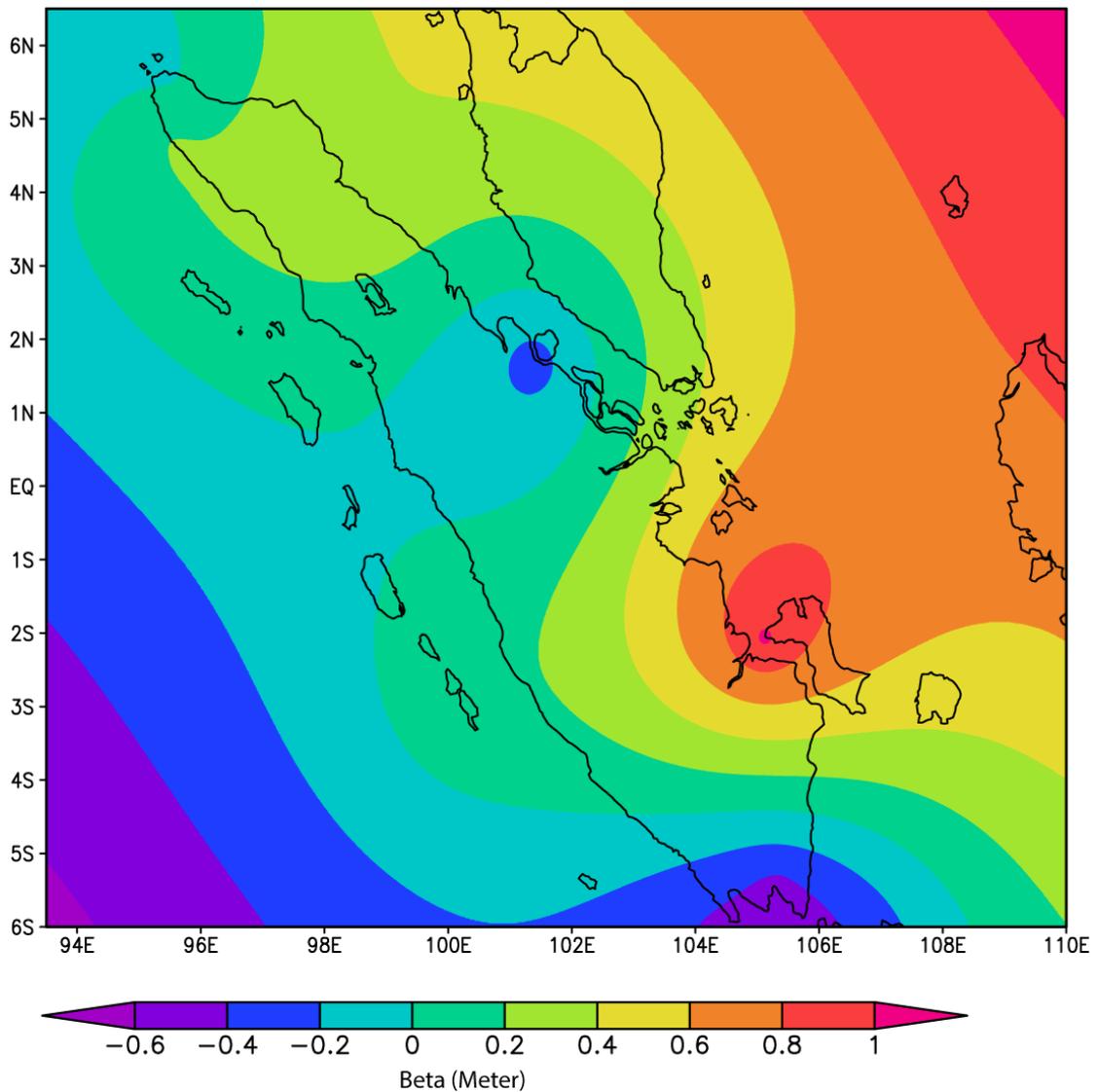
Gambar 9. Hasil analisa komparatif antara MDT geodetik dan *ocean model* di Pulau Jawa dan Pulau Sumatra.



Gambar 10. Hasil interpolasi beta di Pulau Jawa.

Tabel 3. Uji Akurasi undulasi geoid sebelum dan sesudah *fitting* di Jawa dan Sumatra.

No	Lokasi	Average	Standar Deviasi	RMS
Sebelum Fitting				
1.	Pulau Jawa	0,139	0,102	0,169
2.	Pulau Sumatra	0,348	0,319	0,459
Sesudah Fitting				
3.	Pulau Jawa	0,044	0,037	0,056
4.	Pulau Sumatra	0,035	0,027	0,044



Gambar 11. Hasil interpolasi beta di Pulau Sumatra.

Berdasarkan **Tabel 3**, geoid EGM2008 sebelum *fitting* memiliki ketelitian 16.9 cm di Jawa dan 45,9 cm di Sumatra. Setelah dilakukan *fitting* maka ketelitian geoid EGM2008 di Jawa dan Sumatra meningkat, menjadi 5.6 cm di Jawa dan 4,4 cm di Sumatra. Dengan hasil perbaikan akurasi ini, maka data EGM2008 hasil *fitting* sudah dapat digunakan sebagai datum vertikal untuk sistem referensi pada pemetaan skala kecil sampai menengah. Sementara pada pemetaan skala besar, mungkin masih diperlukan perapatan nilai gayaberat untuk mendapatkan nilai undulasi geoid yang lebih presisi lagi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan SSH *ocean model* HYCOM untuk memperoleh MDT hasil pendekatan *ocean model*. Dari hasil validasi *ocean model* Hycom menggunakan data observasi pasang surut diperoleh hasil bahwa *ocean model* HYCOM memiliki korelasi yang tinggi dengan data pasang surut, yaitu 0,6-0,9 sehingga data SSH *model ocean*

HYCOM dapat digunakan untuk menentukan MDT *ocean model*.

Selisih antara MDT geodetik yang diperoleh dari pengukuran GPS-*levelling* dan pasang surut dengan MDT *ocean model* memiliki rata-rata 0.04 cm. Artinya, nilai MDT *ocean model* tidak perlu dilakukan koreksi lagi dan sekaligus membuktikan kebenaran penelitian Woodworth *et al.* (2012).

Dengan memasukkan nilai MDT dalam penentuan geoid geometrik di Jawa dan Sumatra, maka selisih antara geoid geometrik dan geoid EGM2008 menjadi lebih kecil dan meningkatkan ketelitian geoid EGM2008 di Jawa dan Sumatra. Ketelitian geoid EGM2008 di Jawa setelah *fitting* terhadap JKV adalah 5,6 cm dan 4,4 untuk Sumatra. Meskipun ketelitian sebesar ini dapat mendukung pemetaan rupa bumi skala 1:1.000 terutama untuk daerah pantai. Namun demikian, perapatan survei gayaberat masih sangat diperlukan terutama untuk daerah yang jauh dari pantai untuk mendapatkan nilai undulasi geoid dengan resolusi dan akurasi yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada teman-teman yang tergabung di dalam Kelompok Keahlian Gayaberat dan Pasang Surut yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Bidang Jaring Kontrol Gayaberat dan Pasang Surut, Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika, Badan Informasi Geospasial, atas bimbingan dan pelajaran yang diberikan kepada penulis selama melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BIG, (2013). Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013.
- Catalão, J., Sevilla, M. J. (2009). Mapping the geoid for Iberia and the Macaronesian Islands using multi-sensor gravity data and the GRACE geopotential model. *Journal of Geodynamics*, 48(1), 6-15.
- Heiskanen, W. A., Moritz, H. (1967). Physical geodesy. *Bulletin Géodésique (1946-1975)*, 86(1), 491-492.
- Janssen, V., Watson, T. (2011). Performance of AUSGeoid09 in NSW. *Dalam: Proceedings of 16th Association of Public Authority Surveyors conference (APAS2011)*, 6-7 April 2011, Bathurst, Australia (pp.27-36).
- Katalog Jaringan Kontrol Geodesi Tahun 2013. (2013). Badan Informasi Geospasial
- Kun Cahyono, B. (2009). Perbandingan Beberapa Metode Interpolasi untuk Pembentukan Digital Terrain Model dari Peta Topografi Skala Besar. *Documentation Teknik Geodesi*.
- Li, X., Götze, H. J. (2002). Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics. *Geophysics*, 67(3), 997-997.
- Lopes, A. B., Harari, J. (2012). Use of recent geoid models to estimate mean dynamic topography and geostrophic currents in South Atlantic and Brazil Malvinas confluence. *Brazilian Journal of Oceanography*, 60(1), 41-48.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., Factor, J. K. (2008). An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008. *EGU General Assembly*, 13-18.
- Ramdani, D. (2013), Global Geopotential Model Evaluation In Sumatra and Java, *34th Asian Conference on Remote Sensing 2013 (ACRS 2013)*.
- Smith, W. H. F., Wessel, P. (1990). Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophysics*, 55(3), 293-305.
- Sofian, I., Wijananto, A., Karsidi, A. (2013). Estimating the Steric Sea Level Rise in Indonesian Seas using an Oceanic General Circulation Model. *International Journal of Geoinformatics*, 9(3).
- Woodworth, P. L., Hughes, C. W., Bingham, R. J., & Gruber, T. (2012). Towards worldwide height system unification using ocean information. *Journal of Geodetic Science*, 2(4), 302-318.
- Yunianto, G., Lestariya, A. W, (2004). Penyatuan Datum Nasional, Laporan, Bakosurtanal.