

EVALUASI MODEL GEOPOTENSIAL GLOBAL UNTUK PERHITUNGAN GEOID DI JAKARTA

(Global Geopotential Model Evaluation for geoid calculation in Jakarta)

Dadan Ramdani¹, Kosasih Priyatna², and Heri Andreas²

¹Badan Informasi Geospasial, Jl. Raya Jakarta Bogor Km 46 Cibinong, 16911

²Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132,

E-mail: dadan.ramdani@big.go.id

Diterima (received) : 15 Oktober 2014 ; Direvisi(revised) : 31 Oktober 2014; Disetujui dipublikasikan (accepted) : 18 November 2014

ABSTRAK

Dalam Keputusan Kepala BIG tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia penggunaan datum tinggi adalah geoid, tapi referensi ini harus disesuaikan dengan kondisi Jakarta dan juga independen dari perubahan. Berdasarkan kondisi tersebut penelitian ini akan mengevaluasi MODEL GLOBAL GEOPOTENSIAL (GGM) yang paling baik digunakan di Jakarta. Pemilihan GGM untuk perhitungan tinggi geoid di Jakarta terbagi atas 2 tahap. Tahap pertama dengan melihat besarnya penyimpangan dari tinggi geoid hasil dari GM61 dan HSYNC terhadap tinggi geoid *GNSS-Leveling* yang diwakilkan dengan harga standar deviasi. Pada tahap pertama tersebut di ambil dua GGM dengan standar deviasi yang terendah yang kemudian dihitung tinggi geoid pada titik BM pasut dan dibandingkan dengan harga *GNSS-Leveling* pada titik tersebut. Pembagian 2 tahap ini dikarenakan tidak adanya hubungan antara BM pasut dengan titik tinggi yang ada di Jakarta serta waktu pengukuran yang berbeda dimana titik tinggi yang lama diukur pada tahun 1999 sedangkan BM Pasut diukur pada tahun 2010. Dari tahapan pertama yang dilakukan Geoid dari *Model geopotensial global* GIF48 dan *go_cons_gcf_2_tim_r4* mempunyai simpangan perbedaan dengan *GNSS-Leveling* lebih kecil dibandingkan dengan hasil perbedaan dari GGM yang lainnya dengan harga sebesar 0,162 m sedangkan pada tahapan kedua GIF48 menghasilkan standar deviasi sebesar 0,009 m harga ini lebih kecil dibandingkan dengan standar deviasi dari *go_cons_gcf_2_tim_r4* yaitu sebesar 0,026 m. Dari hasil ini geoid dari GIF48 akan lebih cocok untuk digunakan di Jakarta.

Kata Kunci: Tinggi, *Global Geopotential Model*, Geoid

ABSTRACT

In the head decree of Geospatial Information Agency about Indonesian Geospatial Reference System the use of the datum for height reference is Geoid, but this reference should be fitted to the condition of Jakarta and also independent of the changes. Based to those condition this study will evaluate the GEOPOTENSIAL GLOBAL MODEL (GGM) that would be best used in Jakarta. Selection GGM for geoid height calculations in Jakarta is divided into two phase. The first phase is to look at the magnitude of the standard deviation of the geoid height differences result from the 16 GGMs with the use of GM61 and HSYNC to the geoid height of GNSS-Leveling. At this first phase was taken two GGM with the lowest standard deviation. In the second phase with the results of the first phase the geoid height is calculated at the tidal BM points were then compared with value GNSS-Leveling at that point. The division of 2 this phase due to a lack of correlation between tidal BM with a high point in Jakarta as well as the different measurement time in which the high point of time measured in 1999, while tidal BM measured in 2010. From the first stage done Geoid of Global geopotential model GIF48 and go_cons_GCF_2_team_r4 has a deviation of the difference with GNSS-Leveling smaller than the result of the difference of GGM other premises a price of 0.162 m while in the second stage GIF48 produce standard deviation of 0.009 m value is smaller than the standard deviation of go_cons_GCF_2_team_r4 is equal to 0.026 m. From these results the geoid from GIF48 would be more suitable for use in Jakarta.

Keywords: Height, *Global Geopotential Model*, Geoid

PENDAHULUAN

Jakarta memiliki luas daerah sekitar 664.01 km² yang letaknya di daerah pesisir dan beberapa wilayahnya berada dibawah permukaan laut. Jakarta dialiri oleh tiga belas sungai yang bermuara di Laut Jawa dengan penduduk berjumlah 9.603.417 jiwa pada Desember tahun 2012 (Kementerian Dalam Negeri, 2013). Jakarta juga merupakan kota dengan jumlah penduduk tertinggi di Indonesia dan jumlah ini terus bertambah dengan adanya urbanisasi karena daya tarik kota ini sebagai pusat perekonomian Indonesia. Tingkat pertumbuhan penduduk yang

tinggi ini menimbulkan tekanan pada lingkungan hidup Jakarta yang semakin lama semakin berat.

Perpaduan dari kondisi geografis yang rendah dan dialiri oleh banyak sungai, serta kian menurunnya kualitas lingkungan hidup, menyebabkan Jakarta rentan terhadap ancaman bencana terutama banjir. Dengan memperhatikan keadaan tersebut dalam membangun Jakarta di berbagai bidang seperti bidang pertanian, industri dan perdagangan, pelayaran, penerbangan, pendidikan, tata ruang wilayah dan lain-lain, yang berkelanjutan, berhasil guna dan tepat guna diperlukan perencanaan yang matang dengan penataan ruang yang efisien dan tepat

guna. Untuk mewujudkan hal tersebut diperlukan informasi geospasial (IG) yang baik, akurat dan sesuai dengan keadaan yang terkini. IG ini mengacu pada Jaring Kontrol Vertikal (JKV) untuk posisi vertikal. Di Jakarta ada dua macam JKV ada yang bersifat lokal maupun nasional (Jaring Kontrol Vertikal Nasional-JKVN). Undang-undang Republik Indonesia nomor 4 tahun 2011 tentang Informasi Geospasial (Republik Indonesia, 2011) menetapkan JKVN sebagai kerangka acuan posisi vertikal untuk IG.

Informasi tinggi yang terkandung dalam IG berupa kontur dan sangat dibutuhkan oleh berbagai pekerjaan seperti tata air (misalnya pengendalian banjir, irigasi, drainase dll), pembuatan jalan, jembatan dan sebagainya. Informasi tinggi ini akan dijaga konsistensi tingginya oleh JKV yang berupa pilar-pilar di lapangan dengan sebaran tertentu yang mempunyai nilai tinggi yang teliti dan konsisten. JKV merupakan kerangka referensi vertikal sebagai realisasi dari sistem referensi tinggi. Selain fungsi untuk menjaga konsistensi tinggi JKV berfungsi juga sebagai akses bagi pengguna terhadap sistem referensi tinggi.

JKV di Indonesia sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) nomor 15 tahun 2013 tentang Sistem Referensi Geodetik Indonesia 2013 (BIG, 2013), menganut sistem tinggi orthometrik yang mengacu ke geoid kecuali jika belum ada geoid yang memadai maka referensi yang dipakai adalah Muka Laut Rerata (MLR) dengan data pasut selama 18,6 tahun atau bila belum mencukupi selama 1 tahun atau lebih.

Pengukuran tinggi selain dengan menggunakan metode leveling terestrial yaitu dengan sipat datar juga bisa menggunakan metode leveling alternatif dengan menggunakan metode *GNSS-Leveling* yaitu pengukuran GNSS untuk tinggi orthometrik. Penggunaan sipat datar adalah suatu sistem pengukuran yang teliti dimana secara prosedural dan alat yang diperlukan telah menghasilkan suatu kesalahan sistematis yang terbatas. Kesalahan acak yang terjadi dalam pengukuran sipat datar dihasilkan dari beberapa sumber seperti diantaranya variasi dari refraksi, getaran dari alat karena tiupan angin serta yang lainnya. Kesalahan ini berhubungan dengan reduksi dan dapat diminimalisasikan dengan proses perataan kuadrat (Vanicek, 1980). Permasalahan yang terjadi pada perbedaan tinggi yang diambil dari sipat datar adalah hasilnya tidak unik karena perbedaan tinggi tersebut tergantung dari jalan yang diambil dari satu titik ke titik yang lainnya (karena ketidak-paralelan dari permukaan equipotensial). selain itu sipat datar mempunyai biayanya yang mahal, waktu pelaksanaan yang lama, personil yang banyak ditambah di beberapa daerah di Jakarta akan sulit dilaksanakan dengan

adanya lalu lintas yang sering dilalui oleh kendaraan berat dan untuk pengukuran sipat datar teliti hanya bisa dilaksanakan pada waktu tertentu saja. Sedangkan GNSS mempunyai keunggulan pada waktu yang cepat, bisa digunakan kapan saja, biaya yang murah dan personil yang sedikit, namun ketelitiannya lebih rendah dibanding sipat datar (Tabel 1), serta memerlukan tempat yang terbuka karena rentan terhadap *multipath* sehingga memerlukan ruang yang cukup luas.

Tabel 1. tinggi relatif (cm)

d (km)	..h _{kl}	..N _{kl}	..H _{kl} ^a
10	4.7	5.0	6.9
20	6.7	9.0	11.2
30	8.2	13.0	15.4
40	9.5	17.0	19.5
50	10.6	21.0	23.5
60	11.6	25.0	27.6
70	12.6	29.0	31.6
80	13.4	33.0	35.6
90	14.2	37.0	39.6
100	15.0	41.0	43.7

Sumber: Fotopoulos dkk.,(2003)

Metode *GNSS-Leveling* ini memerlukan tinggi/undulasi geoid untuk menghasilkan tinggi orthometrik. Untuk mendapatkan tinggi geoid yang teliti selain memerlukan data gaya berat yang teliti dan rapat juga memerlukan *model geopotensial global* (GGM) yang bagus.

Yang menjadi kendala dalam perhitungan geoid ini adalah ketersediaan data yang berkualitas, cakupan dan kerapatannya sesuai dengan ketentuan, terutama untuk daerah Jawa, Sumatera, Bali dan Nusa Tenggara, sehingga geoid yang teliti masih belum bisa dihitung untuk daerah tersebut. Ketelitian data gayaberat yang diperlukan untuk menghasilkan tinggi geoid teliti berkisar antara 1-2 mGal dan dengan resolusi antara 5 sampai 10 km (Ameti, 2006). Selain dari ketesediaan data gaya berat ketelitian tinggi geoid dipengaruhi juga oleh *model geopotensial global* (GGM) yang dipakai, untuk EGM 1996 (Lemoine dkk., 1998) ketelitiannya masih dikisaran meter dengan adanya EGM 2008 ketelitiannya di Jawa sudah meningkat menjadi sekitar 50 cm (Ramdani, 2010).

Dalam makalah ini akan dicari geoid gelombang panjang yang cocok untuk diterapkan dan sesuai dengan keadaan yang ada di Jakarta. Sehingga dengan adanya geoid ini bisa menjadikan geoid yang didapat menjadi lebih baik lagi dan pengukuran *GNSS-Leveling* lebih optimal serta dengan ketelitian yang baik.

METODE

Tinggi mengacu terhadap suatu bidang referensi (datum tinggi) yang tingginya tertentu. Agar supaya tinggi suatu titik terdefinisi harus ada beberapa hal yang mendasar yaitu:

1. Bidang referensi tinggi (datum tinggi).
2. Nilai/besaran tinggi (H).

Sistem tinggi orthometrik mengacu ke geoid sebagai datum tinggi. Tinggi geoid terbagi atas 3 macam yaitu gelombang panjang dari data global GGM (NG), gelombang menengah dari data koreksi ternein (NTC) dan gelombang tinggi dari data lokal (NL). Dari ketiga data tersebut yang paling berpengaruh adalah data global. Menurut (Rummel, 1992) model perhitungannya bisa menggunakan persamaan (1).

$$N = N_G + N_{TC} + N_L \dots \dots \dots (1)$$

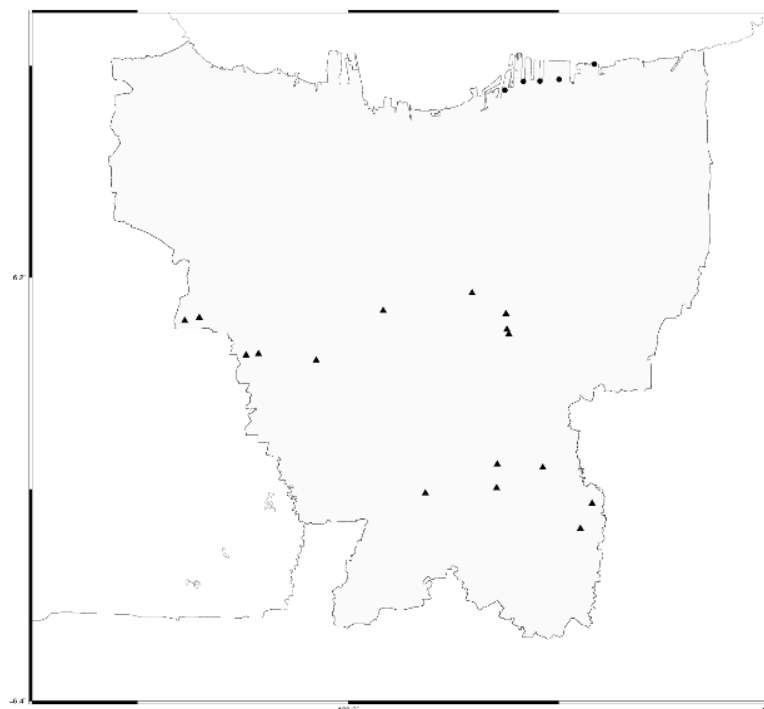
Tinggi geoid gelombang panjang dihitung dari data GGM dengan menggunakan perangkat lunak VERY-HIGH DEGREE HARMONIC SYNTHESIS (hsynth) dari Holmes dan Pavlis, 2008 untuk EGM

2008 dan perangkat GM81 dari (de Min, 2003) untuk yang lainnya. GGM yang dipakai sebanyak 16 diambil dari ICGEM kecuali EGM 2008 diambil dari NGA: Office of Geomatics (Tabel 2). Model perhitungan tinggi geoid dari GGM menggunakan persamaan (2) menurut Heiskanen dan Moritz, 1967.

$$N_G(\phi, \lambda, r) = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^n (\Delta\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \Delta\bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{nm}(\sin(\phi)) \dots \dots \dots (2)$$

Dengan harga $r = R+h$, $\Delta\bar{C}_{nm}$ dan $\Delta\bar{S}_{nm}$ berasal dari GGM sedangkan $\Delta\bar{P}_{nm}$ adalah fungsi Legendre. Tinggi geoid yang didapat dari persamaan (2) akan dibandingkan dengan tinggi geoid dari pengamatan *GNSS-Leveling* dengan menggunakan persamaan (3) (Hofmann-Wellenhof dan Moritz, 2005). Sebaran *GNSS-Leveling* bisa dilihat di Gambar 1.

$$N = h - H \dots \dots \dots (3)$$



Gambar 1. Sebaran titik BM Pasut(•) dan *GNSS-Leveling*

Tabel 3.Daftar model geopotensial global.

No	Model	Tahun	Derajat	Data	Referensi
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	ITG-Goce02	2013	240	S(Goce)	Schall dkk. (2013)
2	GO_CONS_GCF_2_TIM_R4	2013	250	S(Goce)	Pail dkk. (2011)
3	GO_CONS_GCF_2_DIR_R4	2013	260	S(Goce, Grace, Lageos)	Bruinsma dkk. (2013)
4	DGM-1S	2012	250	S(Goce, Grace)	Farahani dkk. (2013)
5	GOCO03S	2012	250	S(Goce, Grace,...)	Int (2012)
6	GO_CONS_GCF_2_DIR_R3	2011	240	S(Goce, Grace, Lageos)	Bruinsma (2010)
7	GO_CONS_GCF_2_TIM_R3	2011	250	S(Goce)	Pail dkk. (2011)
8	GIF48	2011	360	S(Grace),G,A	Ries, (2011)

9	EIGEN-6S	2011	240	S(Goce, Grace, Lageos)	Forste dkk (2011)
10	GOCO02S	2011	250	S(Goce, Grace,...)	Goiginger dkk (2011)
11	AIUB-GRACE03S	2011	160	S(Grace)	Jäggi dkk (2011)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
12	GOCO01S	2010	224	S(Goce, Grace)	Pail dkk. (2010)
13	AIUB-CHAMP03S	2010	100	S(Champ)	Prange dkk. (2011); Prange (2011)
14	EIGEN-CHAMP05S	2010	150	S(Champ)	Flechtner dkk. (2010)
15	EGM2008	2008	2190	S(Grace),G,A	G,A Pavlis dkk. (2008, 2012)
16	EGM96	1996	360	EGM96S,G,A	G,A Lemoine dkk. (1998)

S=Satellite Tracking Data, G = Gravity Data, A = Altimetry Data.

Pemilihan GGM untuk perhitungan tinggi geoid di Jakarta terbagi atas 2 tahap. Tahap pertama dengan melihat besarnya penyimpangan dari tinggi geoid hasil dari GM61 dan HSYNC terhadap tinggi geoid *GNSS-Leveling* yang diwakilkan dengan harga standar deviasi. Harga standar deviasi yang diambil adalah harga yang paling kecil, dari hasil tahap pertama tersebut di ambil dua GGM dengan standar deviasi yang terendah kemudian dihitung tinggi geoid pada titik BM pasut yang kemudian dibandingkan dengan harga *GNSS-Leveling* pada titik tersebut.

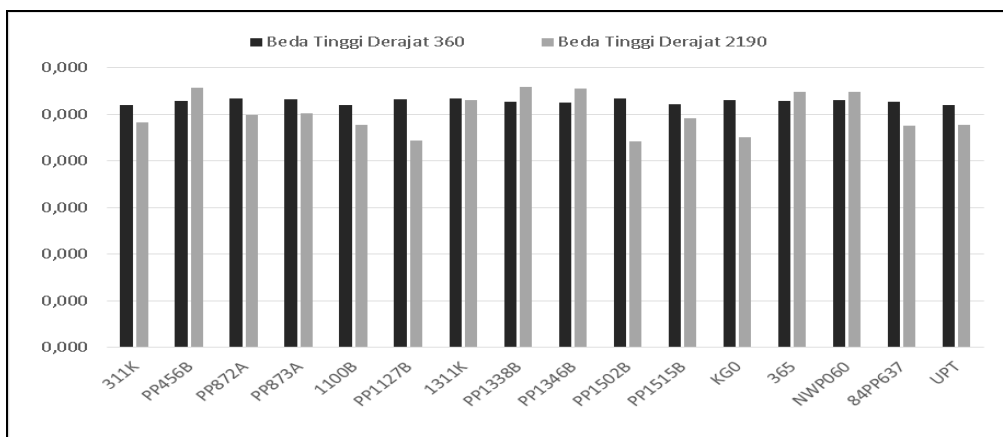
Pembagian 2 tahap ini dikarenakan tidak adanya hubungan antara BM pasut dengan titik tinggi yang ada di Jakarta serta waktu pengukuran yang berbeda dimana titik tinggi yang lama diukur pada tahun 1999 sedangkan BM Pasut diukur pada tahun 2010.

HASIL PEMBAHASAN

Tinggi geoid di titik-titik *GNSS-Leveling* dihitung dengan perangkat lunak GM81 dan HSYNC. Tinggi geoid yang didapat kemudian dibandingkan dengan tinggi geoid hasil pengamatan *GNSS-Leveling* dari data tinggi orthometrik pada tahun 1999, dengan menggunakan persamaan (3). Penggunaan perangkat yang berbeda untuk perhitungan geoid dikarenakan perhitungan untuk derajat tinggi (n=2190) dari perangkat lunak GM81 tidak

menghasilkan sesuai dengan yang diharapkan, hal ini bisa dilihat di Tabel 3 dan Gambar 2 yang merupakan perbedaan dari hasil yang dihitung dengan perangkat lunak GM61 dan HSYNCH. Untuk derajat 360 perbedaan tersebut tidak telalu mencolok dengan simpangan sebesar 0,0005 m untuk BM Pasut dan 0,003 m untuk yang lainnya sedangkan hasil dari derajat 2190 simpangannya menjadi 0,023 m dan 0,021 m. Hasil perbandingan dari tinggi geoid dari GGM dengan *GNSS-Leveling* ini disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3. Perbedaan tinggi geoid dari *GNSS-Leveling* dengan tinggi geoid dari GGM menghasilkan simpangan antara 0,320 m dan 0,162 m. Harga simpangannya sebagian besar kurang dari 0,180 m kecuali aiub-grace03s (0.207 m), aiub-champ03s (0.276 m) dan eigen-champ05s (0.320 m). Nilai simpangan yang terendah didapat dari GIF48 (0.162 m) dan go_cons_gcf_2_tim_r4 (0.162 m).

Hasil tinggi geoid dari kedua GGM yang terendah ini kemudian dibandingkan dengan tinggi geoid dari *GPS-Leveling* di BM pasut. Dari perbandingan ini, go_cons_gcf_2_tim_r4 menghasilkan simpangan sebesar 0.026 m dan gif48 sebesar 0.009 m (Gambar 4). Dengan hasil ini maka tinggi geoid yang paling cocok untuk keperluan perhitungan tinggi di Jakarta adalah yang dihasilkan dari gif48.



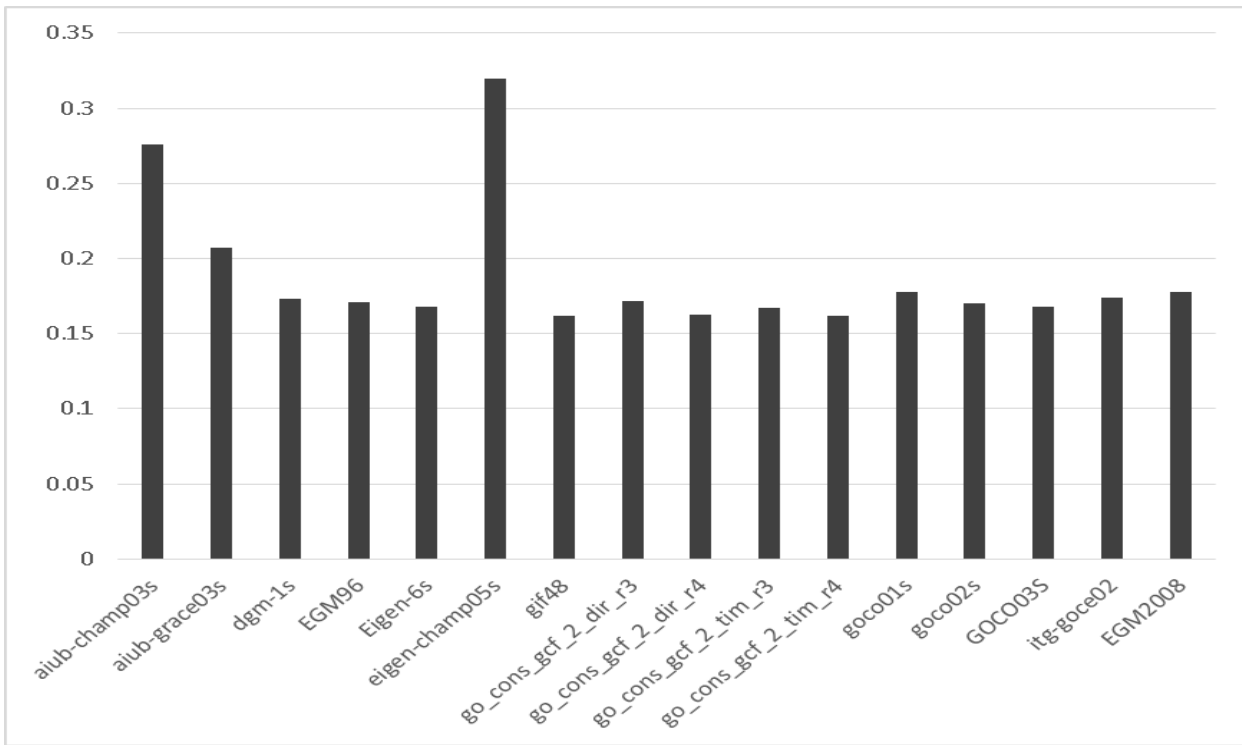
Gambar 8. Beda tinggi geoid dari perangkat lunak GM81 dan HSYNC untuk EGM 2008.

Tabel 4. Hasil perhitungan tinggi geoid dari EGM 2008 dengan menggunakan perangkat lunak GM61 dan HSYNC.

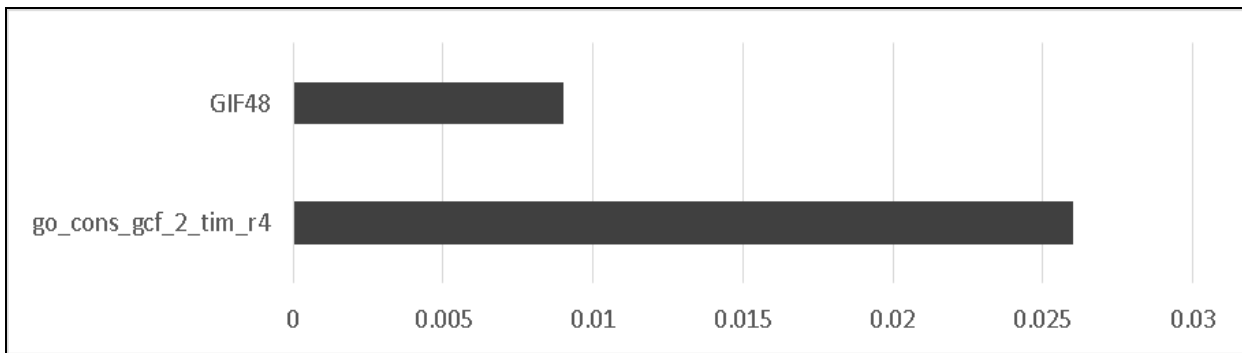
Nama	GM61 360 (m)	HSYNCH 360 (m)	Beda (m)	GM61 2190 (m)	HSYNCH 2190 (m)	Beda (m)
311K	18.3630	18.1030	0.2600	18.2971	18.0560	0.2411
PP456B	18.5190	18.2550	0.2640	18.4027	18.1240	0.2787
PP872A	18.0179	17.7510	0.2669	17.8040	17.5550	0.2490
PP873A	18.0354	17.7690	0.2664	17.8296	17.5790	0.2506
1100B	18.3672	18.1070	0.2602	18.2932	18.0550	0.2382
PP1127B	18.1151	17.8490	0.2661	17.9245	17.7030	0.2215
1311K	18.3528	18.0860	0.2668	18.1817	17.9170	0.2647
PP1338B	18.5139	18.2510	0.2629	18.4033	18.1240	0.2793
PP1346B	18.4506	18.1880	0.2626	18.3319	18.0540	0.2779
PP1502B	18.1010	17.8340	0.2670	17.9037	17.6830	0.2207
PP1515B	18.3268	18.0660	0.2608	18.2627	18.0170	0.2457
KG0	18.1823	17.9170	0.2653	18.0175	17.7920	0.2255
365	18.4070	18.1430	0.2640	18.2730	17.9990	0.2740
NWP060	18.4188	18.1540	0.2648	18.2786	18.0050	0.2736
84PP637	18.2413	17.9780	0.2633	18.1337	17.8960	0.2377
UPT	18.3701	18.1100	0.2601	18.2943	18.0560	0.2383
		Std Dev	0.003		Std Dev	0.021
BM01 TPK01	18.3599	18.1010	0.2589	18.4090	18.1440	0.2255
BM02 TPK02	18.3798	18.1210	0.2588	18.4357	18.1710	0.2740
BM03 TPK03	18.3961	18.1370	0.2591	18.4543	18.1900	0.2736
BM04 TPK04	18.4152	18.1570	0.2582	18.4755	18.2110	0.2377
BM05 TPK05	18.4528	18.1950	0.2578	18.5179	18.2540	0.2383
		Std Dev	0.0005		Std Dev	0.023

Tabel 5. Standar deviasi Perbedaan Geoid dari GGM dengan *GNSS-Leveling* (m).

No	GGM	Standar Deviasi
1	aiub-champ03s	0.276
2	aiub-grace03s	0.207
3	dgm-1s	0.173
4	EGM96	0.171
5	Eigen-6s	0.168
6	eigen-champ05s	0.320
7	gif48	0.162
8	go_cons_gcf_2_dir_r3	0.172
9	go_cons_gcf_2_dir_r4	0.163
10	go_cons_gcf_2_tim_r3	0.167
11	go_cons_gcf_2_tim_r4	0.162
12	goco01s	0.178
13	goco02s	0.170
14	GOCO03S	0.168
15	itg-goce02	0.174
16	EGM2008	0.178



Gambar 9. Standar deviasi Perbedaan Geoid dari GGM dengan *GNSS-Leveling* (m).



Gambar 10. Standar Deviasi Perbedaan Geoid dari GIF48 dan go_cons_gcf_2_tim_r4 dengan *GNSS-Leveling* (m)

KESIMPULAN

Dari tahapan pertama yang dilakukan Geoid dari *Model geopotensial global* GIF48 dan go_cons_gcf_2_tim_r4 mempunyai simpangan perbedaan dengan *GNSS-Leveling* lebih kecil dibandingkan dengan hasil perbedaan dari GGM yang lainnya dengan harga sebesar 0,162 m sedangkan pada tahapan kedua GIF48 menghasilkan standar deviasi sebesar 0,009 m harga ini lebih kecil dibandingkan dengan standar deviasi dari go_cons_gcf_2_tim_r4 yaitu sebesar 0,026 m. Dari hasil ini, geoid dari GIF48 akan lebih cocok untuk digunakan di Jakarta.

Penerapan teknologi GNSS untuk penukuran tinggi orthometrik sangat memerlukan pengadaan tinggi geoid yang teliti. Geoid teliti ini bisa dihasilkan dengan melakukan pengukuran gayaberat untuk menambahkan komponen gelombang pendek pada geoid. Sehingga Jakarta

perlu dilakukan pengukuran gayaberat untuk perhitungan geoid teliti.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial dalam penyediaan data dan informasinya, serta terima kasih juga kepada semua pihak yang ikut terlibat dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ameti, P (2006). Downward continuation of Geopotential in Switzerland. PhD thesis, Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.).
- Badan Informasi Geospasial, (2013), Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2013 Tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013.
- Bruinsma, S.L., Ch. Förste, O. Abrikosov, J.-C. Marty, M.H. Rio, S. Mulet, dan S. Bonvalot, (2013), The new ESA satellite-only gravity field model via the direct approach. *Geophys. Res. Lett.*, 40: 36071273612. doi: 10.1002/grl.50716.
- Bruinsma, S.L., J.C. Marty, G. Balmino, R. Biancale, C. Förste, , O. Abrikosov, dan H. Neumayer, (2010), GOCE gravity field recovery by means of the direct numerical method. In *ESA living planet symposium (Vol. 27)*.
- Min, E. de., (2003), GM81 a fortran program for calculating geoid from global model. Tidak diterbitkan.
- Farahani, H. H., P Ditmar, R Klees, X Liu, Q Zhao, dan J Guo, (2013), The static gravity field model DGM-1S from GRACE and GOCE data: computation, validation and an analysis of goce mission's added value. *Journal of Geodesy*, 87(9):843-867.
- Flechtner, F., C. Dahle, K.H. Neumayer, R. König, dan Ch. Förste, (2010), The release 04 CHAMP and GRACE EIGEN gravity field models. In Frank M. Flechtner, Thomas Gruber, Andreas Güntner, M. Manda, Markus Rothacher, Tilo Schöne, dan Jens Wickert, editors, *System Earth via Geodetic-Geophysical Space Techniques, Advanced Technologies in Earth Sciences*, pages 41-58. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-10227-1.
- Förste, Ch., S. Bruinsma, R. Shako, J. C. Marty, F. Flechtner, O. Abrikosov, C. Dahle, J. M. Lemoine, K. H. Neumayer, R. Biancale, F. Barthelmes, R. König, dan G. Balmino, (2011), EIGEN-6 - a new combined global gravity field model including GOCE data from the collaboration of GFZ-Potsdam and GRGS-Toulouse. *Geophysical Research Abstracts*, 13.
- Fotopoulos, G., C Kotsakis, dan M.G. Sideris, (2003), How accurately can we determine orthometric height differences from gps and geoid data? *Journal of Surveying Engineering*, 129(1):112710.
- Goiginger, H., E. Hoeck, D. Rieser, T. Mayer-Guerr, A. Maier, S. Krauss, R. Pail, T. Fecher, T. Gruber, J.M. Brockmann, dkk, (2011), The combined satellite only global gravity field model GOCO02S. *Geophysical Research Abstracts*, 13.
- Heiskanen, W.A., dan H. Moritz, (1967), *Physical geodesy (Book on physical geodesy covering potential theory, gravity fields, gravimetric and astrogeodetic methods, statistical analysis, etc)*. Freeman.
- Hofmann-Wellenhof, B. dan H. Moritz, (2005), *Physical Geodesy*. Springer Wien, kedua edition.
- Holmes, S.A. dan N.K. Pavlis, (2008). A fortran program for very-high-degree harmonic synthesis. Technical report, Technical report for harmonic_synth version 05/01/2006. National Geospatial-Intelligence Agency, Greenbelt.
- Republik Indonesia, (2011), Undang-undang nomor 4 Tahun 2011, tentang Informasi Geospasial. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Jäggi, A., U. Meyer, G. Beutler, L. Prange, R. Dach, dan L. Mervart, (2011), AIUB-GRACE03S. URL <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html>.
- Lemoine, F.G., S.C. Kenyon, J.K. Factor, R.G. Trimmer, N.K. Pavlis, D.S. Chinn, C.M. Cox, S.M. Klosko, S.B. Luthcke, M.H. Torrence, Y.M. Wang, R.G. Williamson, E.C. Pavlis, R.H. Rapp, dan T.R. Olson, (1998), *The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96*, NASA. National Aeronautics and Space Administration. URL <http://books.google.co.id/books?id=XiYdcgAACAAJ>.
- Kementerian Dalam Negeri, (2013), Permendagri No.18 Tahun 2013, *KODE DAN DATA WILAYAH ADMINISTRASI PEMERINTAHAN*.
- Mayer-Gürr, T., Rieser, D., Höck, E., Brockmann, J.M., Schuh, W.D., Krasbutter, I., Kusche, J., Maier, A., Krauss, S., Hausleitner, W. and others, The new combined satellite only model GOCO03s, (2012). *International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems*.
- Pail, R., H. Goiginger, W.-D. Schuh, E. Höck, J.M. Brockmann, T. Fecher, T. Gruber, T. Mayer-Gürr, J. Kusche, A. Jäggi, dkk., (2010), Combined satellite gravity field model GOCO01S derived from GOCE and GRACE. *Geophysical Research Letters*, 37(20).
- Pail, R., S. Bruinsma, F. Migliaccio, Ch. Förste, H. Goiginger, W.D. Schuh, E. Höck, M. Reguzzoni, J.M. Brockmann, O. Abrikosov, dkk. , (2011), First GOCE gravity field models derived by three different approaches. *Journal of Geodesy*, 85(11):819-843.
- Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, dan J.K. Factor, (2008), *An earth gravitational model to degree 2160: EGM2008*. Vienna, Austria, The

- 2008 General Assembly of the European Geosciences Union.
- Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, dan J.K. Factor., (2012), The development and evaluation of the earth gravitational model 2008 (EGM2008). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 117(B4),
- Prange, L., (2011). *Global Gravity Field Determination Using the GPS Measurements Made Onboard the Low Earth Orbiting Satellite CHAMP*. PhD thesis, Geod128tisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Swis, URL <http://www.sgc.ethz.ch/sgc-volumes/sgk-81.pdf>.
- Prange, L., A. Jäggi, G. Beutler, U. Meyer, L. Mervart, R. Dach, dan H. Bock, (2011), AIUBCHAMP03S: A gravity 128eld model from eight years of CHAMP GPS data makalah masih dalam persiapan.
- Ramdani, D., (2010), Penggunaan EGM2008, EGM1996 dan GPS-Levelling untuk tinggi undulasi geoid di sulawesi. *Widya Riset*, 13(8).
- Rummel, R., (1992), *Fysishe Geodesi I (Physical Geodesy)*, volume 1. TU Delft.
- Schall, J., A. Eicker, dan J. Kusche, (2013), The ITG-GOCE02 gravity field model from GOCE orbit and gradiometer data based on the short arc approach. *Journal of Geodesy*, p. 1-7.
- Ries, J.C., S. Bettadpur, S. Poole, dan T. Richter (2011). Mean background gravity fields for GRACE processing. In GRACE science team meeting, Austin, TX (pp. 8-10).
- Vanicek, P., R.O. Castle, dan E.I. Balazs. (1980). Geodetic leveling and its applications. *Reviews of Geophysics*, 18, doi: doi-10.1029/rg018i002p0050.