

PEMODELAN GEOID INDONESIA DENGAN DATA SATELIT GOCE

Maylani Daraputri, Yudo Prasetyo, Bambang Darmo Yuwono^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp. (024) 76480785, 76480788
 email : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada koordinat geografis 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Dengan banyaknya laut yang dimiliki Indonesia, penentuan MSL (*Mean Sea Level*) sebagai bidang yang berimpit dengan geoid menjadi pekerjaan yang sulit.

Penentuan model geoid dapat diturunkan dari data satelit, data gravimetri dan data DEM. Perkembangan teknologi satelit gaya berat berperan sangat besar dalam menentukan medan gaya berat bumi. Salah satu satelit gaya berat bumi adalah satelit GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) yang diluncurkan oleh ESA (*European Space Agency*) pada Maret 2009.

Pemodelan geoid pada penelitian ini hanya menggunakan data satelit GOCE yang digunakan sebagai gelombang panjang geoid. Data yang digunakan adalah data level-2 satelit GOCE. Model geoid GOCE yang digunakan ada empat jenis yaitu model DIR R2, DIR R3, TIM R2, dan TIM R3 yang dirilis pada tahun 2010 dan 2011. Sebagai model pembandingan digunakan model EGM 96 dan EIGEN 5C. Validasi model geoid dilakukan terhadap model geoid lokal pulau Jawa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model DIR R2 memiliki selisih standar deviasi terkecil terhadap model pembandingan EGM 96 yaitu sebesar 0.583 meter maupun dengan model EIGEN 5C yaitu sebesar 0.186 meter. Geoid dengan grid kecil dan derajat orde rendah memiliki standar deviasi rendah.

Hasil dari perbandingan antar model geoid GOCE menunjukkan bahwa model TIM R2 dan TIM R3 memiliki standar deviasi terkecil yaitu sebesar 0.014 meter, hasil validasi dengan model geoid lokal pulau Jawa memiliki nilai standar deviasi sebesar 0.328 meter. Dengan model geoid regional Indonesia dari data satelit GOCE, penentuan geoid lokal untuk masing-masing daerah dapat lebih mudah.

Kata kunci : EIGEN 5C, EGM 96, Geoid, GOCE.

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago country which is geographically located in 6° N – 11° S and 95° – 141° E. Indonesia have a much of sea, determination of mean sea level as a surface closed to geoid was difficult.

Determination of geoid model could be derived from satellite data, surface gravity, and digital elevation model. Development of satellite gravity has a significant impact in determining gravity field of the earth. One of the most commonly satellite gravity is GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) satellite, was launched in march 2009 by ESA (European Space Agency).

Geoid modelling in this research used GOCE satellite data as long wavelength geoid. The data which was used is GOCE level 2 data. GOCE geoid models which were used are DIR R2, R3 DIR, TIM R2 and TIM R3 with the acquisition data in 2010 and 2011. The results of GOCE geoid models are subtracted with EGM 96 and EIGEN 5C models. Validation of geoid model was refer to Java local geoid model.

The results showed that the model DIR R2 has the lowest differences of standard deviation due to EGM96 model is about 0.583 meter as well as EIGEN 5C is about 0.186 meter. Geoid model which has small grid and low degree and order had low standard deviation.

The Results of the comparison between the GOCE geoid model showed that the model TIM R2 and TIM R3 has the lowest standard deviation is about 0.014 meter. The result of validation due to Java local geoid model is about 0.328 meter. With the regional geoid of Indonesia using GOCE satellite data, determination of geoid height in each local area is easier.

Keywords : EIGEN 5C, EGM 96, Geoid, GOCE.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Indonesia terletak pada koordinat geografis 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari pulau-pulau yang dibatasi oleh laut. Dengan banyaknya laut yang dimiliki Indonesia, penentuan MSL (*Mean Sea Level*) sebagai bidang yang berimpit dengan geoid menjadi pekerjaan yang sangat sulit.

Selain itu, wilayah Indonesia memiliki banyak gunung api karena dilewati oleh busur cincin api pasifik (*Pasific Ring of Fire*) dengan kondisi topografi yang sangat bervariasi. Perhitungan geoid teliti dengan metode gravimetrik untuk daerah yang bergunung-gunung merupakan hal yang sulit terutama dengan ketersediaan data yang sedikit (Kiamerh,R. 2006).

Geoid teliti sangat berguna sebagai referensi dalam penentuan tinggi orthometris. Penentuan tinggi orthometris dengan metode sipat datar membutuhkan waktu, tenaga, biaya yang sangat banyak (Rastawira, 2013). Oleh karena itu teknologi GPS sangat membantu dalam memperoleh koordinat, namun tinggi yang dihasilkan oleh GPS merupakan tinggi Geometris, sehingga untuk keperluan praktis tinggi yang dihasilkan oleh GPS harus ditransformasi ke tinggi orthometris. Untuk mentransformasi tinggi geometris ke tinggi orthometris memerlukan data undulasi geoid (Triarahmadhana,B. 2014).

Oleh karena itu, geoid yang teliti sangat mempengaruhi kualitas data tinggi orthometris. Geoid juga dapat merepresentasikan bentuk fisik bumi. Pada penelitian ini, akan dilakukan pemodelan geoid wilayah Indonesia dengan menggunakan data satelit GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*). Pembentukan model geoid wilayah Indonesia diharapkan dapat mempermudah dalam penentuan datum vertikal di wilayah Indonesia, selain itu dapat pula memberikan perbandingan model geoid yang lebih cocok untuk digunakan di wilayah Indonesia.

I.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan di atas, maka rumusan masalah yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan model geoid termasuk anomali gravitasi untuk wilayah Indonesia dari data satelit GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) dengan perangkat lunak *GUT* ?
2. Bagaimana hasil pemodelan geoid global dari data satelit GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) dengan perangkat lunak *GUT*?

3. Bagaimana analisis perbandingan undulasi geoid dari data satelit GOCE terhadap model geoid EGM96 dan EIGEN?
4. Bagaimana hasil validasi model geoid GOCE terhadap model geoid lokal pulau Jawa?

I.3. Batasan Masalah

1. Pemodelan geoid global hanya menggunakan komponen gelombang panjang dari data satelit GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*).
2. Metode validasi undulasi geoid dalam penelitian ini menggunakan model geoid EGM96 dan EIGEN.
3. Pembentukan anomali gravitasi didasarkan metode *free air*.
4. Validasi model geoid GOCE menggunakan model geoid lokal kota Semarang.

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui model geoid global kawasan Indonesia dari data satelit GOCE dengan perangkat lunak *GUT*. Manfaat dari penelitian ini dapat diuraikan menjadi dua :

1. Manfaat dari segi keilmuan
Model geoid yang diperoleh dapat merepresentasikan bentuk fisik bumi melalui medan gaya berat,
2. Manfaat dari segi kerekayasaan
Undulasi geoid dapat digunakan untuk mentransformasi tinggi geometris ke tinggi orthometris. Data beda potensial dapat menentukan aliran air, ke atas atau ke bawah.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Sistem Tinggi Geodesi

Tinggi adalah jarak vertikal atau jarak tegak lurus dari suatu bidang referensi tertentu terhadap suatu titik sepanjang garis vertikalnya. Konsep tinggi diperlukan dalam pendefinisian kerangka referensi sistem tinggi (konsep deformasi vertikal) Pada prinsipnya, pengukuran tinggi secara fisis menggunakan datum geoid sehingga memiliki arti riil dalam perhitungan tinggi (Prasetyo,Y., 2009). Untuk suatu wilayah biasa MSL ditentukan sebagai bidang referensi dan perluasannya kedaratan akan disebut dengan datum atau geoid.

II.2. Konsep dasar geoid

Geoid disebut sebagai model bumi yang mendekati sesungguhnya. Selanjutnya geoid didefinisikan sebagai suatu permukaan ekuipotensial gaya berat (disebut juga bidang nivo) yang secara global mendekati permukaan laut rata-rata (Kahar, 2008). Geoid memiliki peran yang cukup penting dalam berbagai hal seperti untuk keperluan aplikasi

geodesi, oseanografi, dan geofisika. Contoh untuk bidang geodesi yaitu penggunaan teknologi GPS dalam penentuan tinggi orthometrik untuk berbagai keperluan praktis seperti rekayasa, survei, dan pemetaan membutuhkan informasi geoid teliti. Hal ini disebabkan karena tinggi GPS adalah bersifat geometrik karena mengacu pada bidang matematis ellipsoid, sedangkan tinggi yang diperlukan untuk keperluan praktis adalah tinggi yang mempunyai arti fisik di permukaan bumi yaitu tinggi orthometris di mana bidang acuannya adalah geoid. Beda tinggi antara ellipsoid dan tinggi geoid sangatlah bervariasi dan besarnya bisa mencapai puluhan meter, sehingga pemakaian langsung tinggi GPS (tinggi ellipsoid) itu bisa menyebabkan penyimpangan puluhan meter terhadap tinggi orthometris.

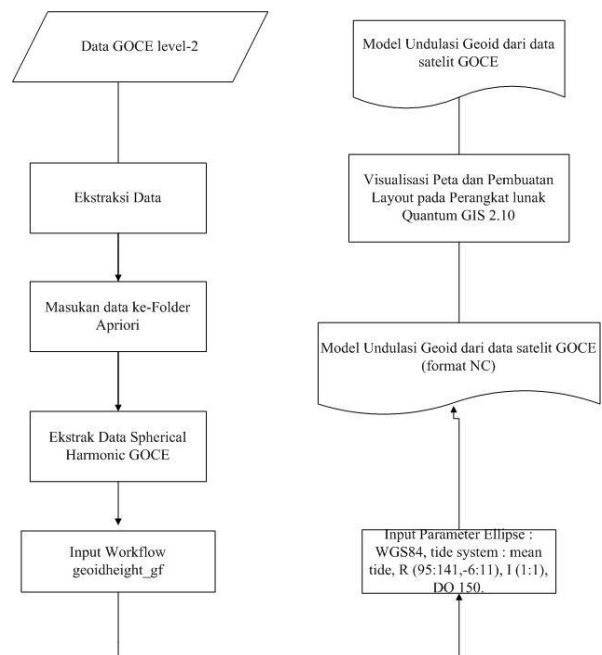
II.3. Satelit GOCE

GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) diluncurkan pada tanggal 17 maret 2009 adalah misi satelit dari ESA (*European Space Agency*) dalam bidang geodesi dan geodinamik berupa kombinasi dari SGG (*Satellite Gravity Gradiometry*) dan SST (*Satellite-to-Satellite Tracking*). Misi ini merupakan salah satu misi utama dari ESA *Earth Explorer Programme* yang dicanangkan di pertemuan Granada pada tanggal 12-14 Oktober 1999. Kontrak misi dimulai pada bulan Nopember tahun 2001. Obyek utama dari misi GOCE yaitu untuk menentukan *gravity field* statis berupa geoid dan *gravity anomaly* dengan akurasi 1 sentimeter untuk tinggi geoid, dan 1 miligal untuk *gravity anomaly*, pada spasial grid 100 kilometer dipermukaan bumi bahkan lebih kecil dari itu. Data dari GOCE menyediakan model yang unik dari medan gaya berat bumi dan juga dalam hal representasi bidang equipotensial yang diwakili oleh geoid.

III. Metodologi

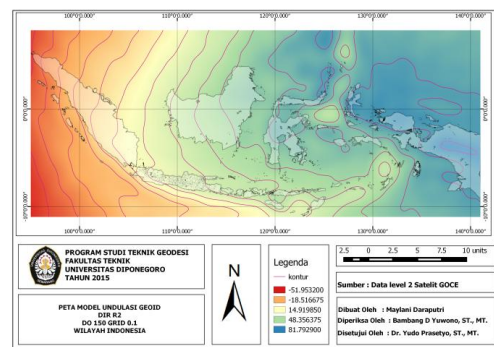
III.1. Perhitungan Undulasi Geoid Dari Data Satelit GOCE

Perhitungan undulasi geoid dari data satelit GOCE dijabarkan pada diagram alir perhitungan undulasi geoid dari data satelit GOCE, dibawah ini :



Gambar III.1. Diagram Alir Perhitungan geoid GOCE

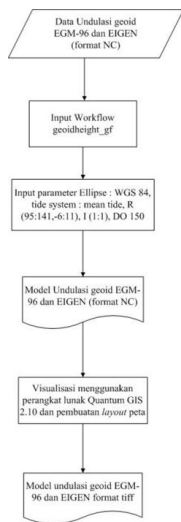
Salah satu model geoid dari hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak GUT dapat dilihat pada gambar III.2.



Gambar III.2. Model geoid GOCE DIR R2 DO 150 Grid 0.1

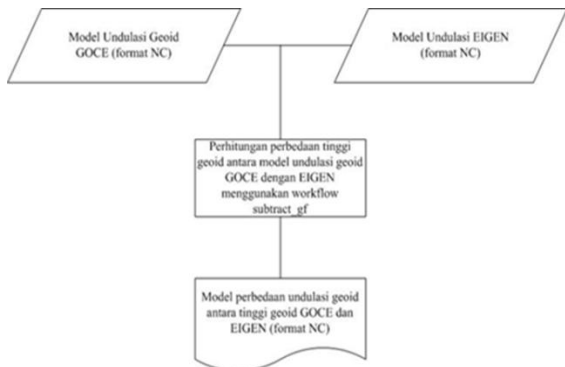
III.2. Perhitungan Undulasi geoid EGM 96 dan EIGEN 5C

Perhitungan undulasi geoid EGM 96 dan EIGEN 5C dijabarkan pada diagram alir :



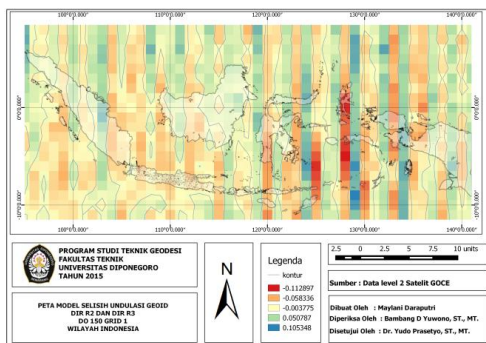
Gambar III.3. Perhitungan undulasi geoid EGM 96 dan EIGEN 5C

Perhitungan selisih tinggi undulasi geoid antar model GOCE, maupun terhadap model EGM 96 dan EIGEN 5C, dapat dilihat pada gambar III.4. :



Gambar III.4. Diagram Alir perhitungan selisih tinggi undulasi

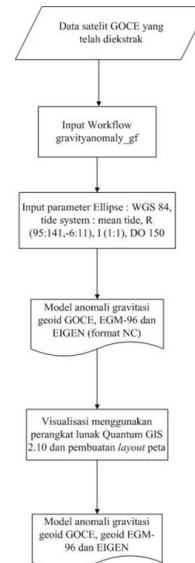
Salah satu Model dari hasil perhitungan selisih tinggi undulasi dapat dilihat pada gambar III.5.:



Gambar III.5. Model selisih undulasi DIR R3 TIM R2

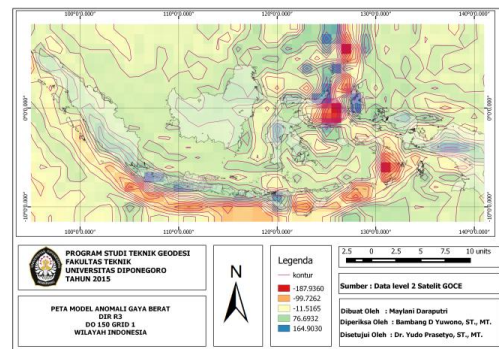
III.3. Perhitungan Anomali Gaya Berat

Perhitungan anomali gaya berat dapat dilihat pada diagram alir pada gambar III.6.



Gambar III.6. Diagram Alir perhitungan Anomali gaya berat

Salah satu model anomali gaya berat dapat dilihat pada gambar III.7.

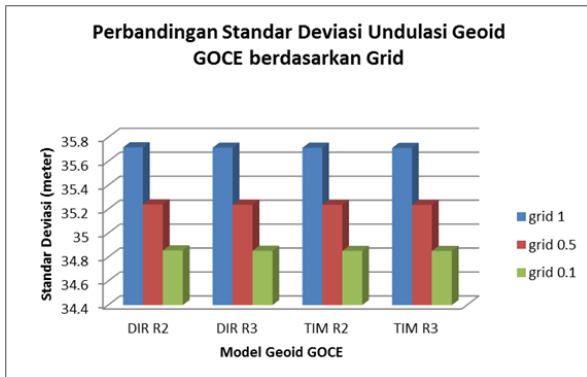


Gambar III.7. Model anomali gaya berat DIR R3

IV. Hasil dan Analisis

VI.1. Model undulasi geoid GOCE dengan variasi Grid

Model undulasi geoid dari data satelit GOCE ada empat jenis, yaitu DIR R2, DIR R3, TIM R2, TIM R3. Dengan variasi grid variasi grid 1, 0.5, 0.1. Model undulasi geoid dari data satelit GOCE dengan dengan derajat orde 150 memiliki persamaan pola. Perbedaan tingi undulasi geoid terendah terdapat pada wilayah Indonesia bagian barat dengan kisaran nilai tinggi undulasi geoid sebesar -51 meter, kemudian untuk tinggi undulasi geoid tertinggi terdapat pada wilayah Indonesia bagian timur dengan kisaran nilai tinggi undulasi geoid sebesar 81 meter. Hasil dari perhitungan undulasi geoid dengan perangkat lunak GUT adalah berupa data raster yang memiliki nilai pada setiap pikselnya. Semakin banyak piksel yang dihasilkan, semakin halus pula gambar yang terbentuk. Perbandingan standar deviasi dengan variasi grid dapat dilihat pada gambar IV.1.

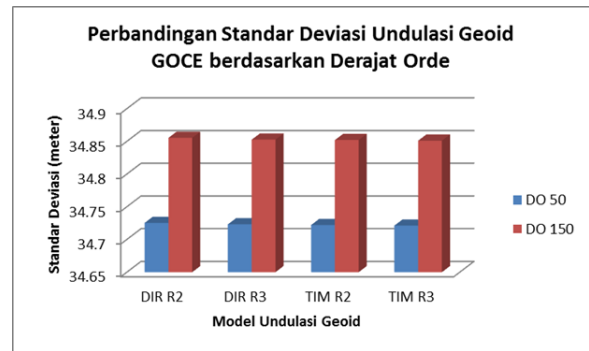


Gambar IV.1. Perbandingan standar deviasi undulasi geoid GOCE dengan variasi grid

Urutan yang terbentuk dari nilai standar deviasi undulasi geoid GOCE adalah semakin tinggi grid model undulasi geoid, maka semakin rendah nilai standar deviasi nilai undulasi geoidnya.

VI.2. Model undulasi geoid GOCE dengan variasi derajat orde

Model undulasi geoid GOCE dengan variasi derajat orde dibuat dengan derajat orde 150 dan 50 serta dibuat dengan grid 0.1. Perbedaan dari model undulasi geoid antara model dengan derajat orde 150 dengan model derajat orde 50 adalah pada jangkauan data nilai undulasi geoidnya. Kemudian kontur tinggi geoidnya berbeda, jika pada derajat orde 150 konturnya lebih rapat namun lebih kasar bentuknya sementara derajat orde 50 konturnya lebih renggang namun lebih halus. Perbandingan standar deviasi undulasi geoid GOCE berdasarkan derajat orde dapat dilihat pada gambar IV.2.

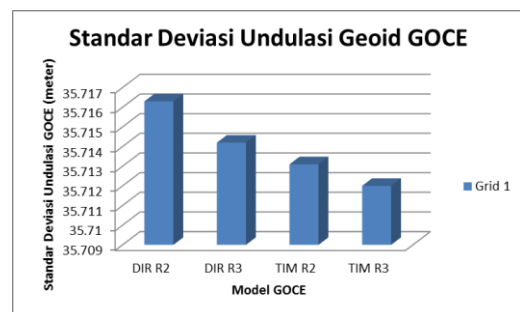


Gambar IV.2. Perbandingan standar deviasi undulasi geoid GOCE dengan variasi grid

Nilai standar deviasi, model dengan derajat orde 50 memiliki nilai standar deviasi yang lebih rendah dibandingkan model dengan derajat orde 150.

VI.3. Model Geoid GOCE

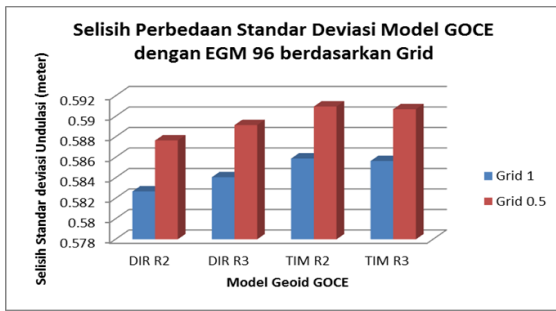
Model undulasi geoid GOCE memiliki nilai rerata yang berbeda-beda. Perbandingan antar model geoid GOCE dilakukan untuk mengetahui model geoid yang mendekati model EGM96 ataupun model EIGEN 5C. Nilai standar undulasi geoid GOCE, nilai yang paling tinggi dimiliki oleh model DIR R2, kemudian DIR R3, TIM R2, TIM R3. Dapat dilihat pada gambar IV.3.



Gambar IV.3. Nilai standar deviasi undulasi

VI.4. Perbandingan selisih model GOCE dengan EGM 96

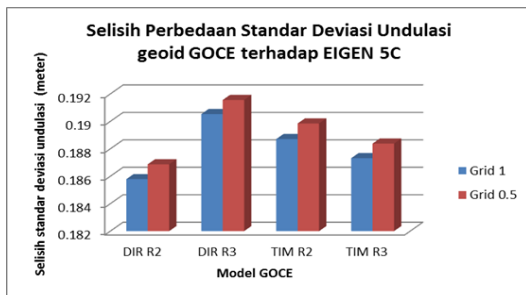
Perbandingan selisih tinggi undulasi geoid GOCE terhadap model EGM 96 dilakukan untuk mengetahui model geoid GOCE yang paling mendekati model EGM 96. Model yang memiliki perbedaan paling kecil dengan model EGM 96 adalah model DIR R2. Sementara model yang memiliki perbedaan paling besar adalah model TIM R2. Nilai standar deviasi perbandingan selisih model GOCE dengan EGM 96 dapat dilihat pada gambar IV.4.



Gambar IV.4. Nilai standar deviasi perbandingan selisih model GOCE dengan EGM 96

VI.5. Perbandingan selisih model GOCE dengan EIGEN 5C

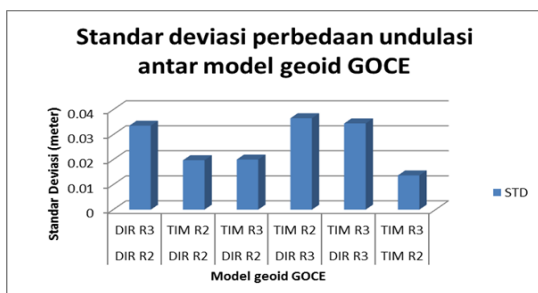
Perbedaan selisih tinggi undulasi geoid GOCE terhadap model EIGEN 5C dilakukan untuk dapat melakukan perbandingan selisih antara model GOCE dan EIGEN 5C. Data nilai selisih standar deviasi model geoid GOCE terhadap model EIGEN 5C, menunjukkan model DIR R2 memiliki nilai selisih standar deviasi terkecil dibandingkan model yang lainnya, dapat dilihat pada gambar IV.5.



Gambar IV.5. Nilai standar deviasi

VI.6. Perbandingan antar model geoid GOCE

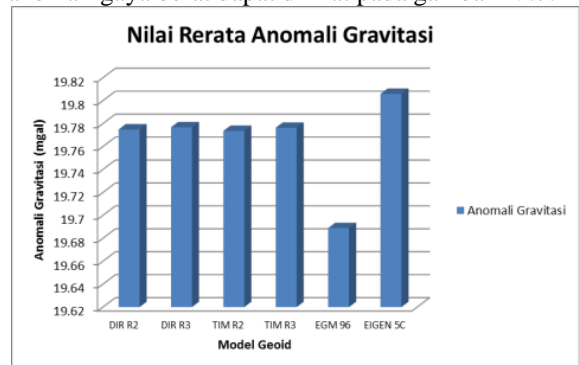
Analisis perbedaan antar model geoid GOCE bertujuan untuk meninjau secara spasial wilayah-wilayah yang memiliki perbedaan undulasi geoid. Nilai standar deviasi terkecil terdapat pada model TIM R2 dan TIM R3, dapat dilihat pada gambar IV.6.



Gambar IV.6. Standar deviasi perbedaan undulasi antar model GOCE

VI.7. Anomali Gaya berat

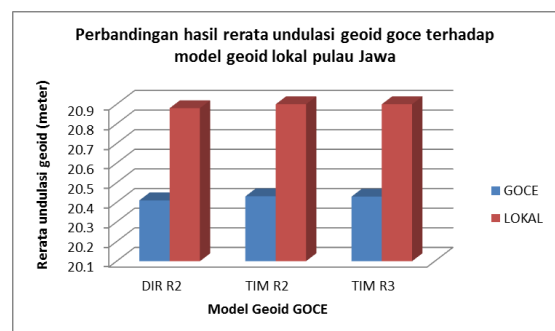
Semua model geoid dari data satelit GOCE, EGM 96 dan EIGEN 5C memiliki pola anomali gaya berat yang sama. Pola anomali gaya berat yang rendah mengikuti pola gunung api yang ada di Indonesia atau biasa disebut *Pacific Ring of Fire*. Hal ini disebabkan oleh topografi yang bervariasi, sehingga ketinggian tempat tersebut berpengaruh pada nilai anomali gaya beratnya. Nilai rerata anomali gaya berat dapat dilihat pada gambar IV.7.



Gambar IV.7. Nilai rerata anomali gaya berat

VI.8. Perbandingan hasil model geoid GOCE dengan geoid lokal pulau Jawa

Hasil perhitungan model geoid GOCE dari data satelit GOCE wilayah Indonesia, dibandingkan dengan model geoid lokal pulau Jawa (Triarahmadhana, B. dkk (2014)) dengan gelombang panjang dari data satelit GOCE menunjukkan perbedaan dalam orde sentimeter. Nilai standar deviasi perbandingan hasil model geoid GOCE dengan geoid lokal pulau Jawa dapat dilihat pada gambar IV.8.



Gambar IV.8. Nilai standar deviasi perbandingan hasil model geoid GOCE dengan geoid lokal pulau Jawa

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Hasil perhitungan undulasi dan anomali gravitasi dari data satelit GOCE dengan menggunakan perangkat lunak GUT, yaitu :
 - a. Model undulasi geoid dari data satelit GOCE dengan variasi grid dan derajat orde 150 memiliki jangkauan data dengan minimum -51,9 meter dan maksimum 81,4 meter. Perbedaan antar model hanya pada orde sentimeter. Semakin tinggi nilai grid, maka semakin besar pula nilai rerata undulasi geoidnya. Sebaliknya, semakin kecil nilai standar deviasi undulasi geoidnya.
 - b. Model undulasi geoid dari data satelit GOCE dengan variasi derajat orde 50 dan 150. Hasil statistik menunjukkan bahwa semakin rendah derajat orde yang digunakan, maka semakin tinggi nilai rerata undulasi geoidnya. Sebaliknya, semakin rendah nilai standar deviasi undulasi geoidnya.
 - c. Model DIR R2 memiliki nilai rerata terendah dan standar deviasi tertinggi dibandingkan dengan model DIR R3, TIM R2, dan TIM R3.
 - d. Nilai anomali gravitasi model geoid dari data satelit GOCE memiliki nilai yang hampir sama dengan rerata 19,77 mgal. Sedangkan pada model EGM96 memiliki nilai 19,68 mgal dan EIGEN 5C memiliki nilai 19,80 mgal.
2. Hasil pemodelan geoid dari data satelit GOCE menunjukkan bahwa pada wilayah Indonesia bagian barat khususnya pada pulau Sumatera, memiliki nilai geoid negatif atau geoidnya terletak dibawah ellipsoid. Sementara untuk wilayah Indonesia tengah dan timur nilai geoid memiliki nilai positif atau geoidnya terletak diatas ellipsoid.
3. Perbandingan antar model undulasi geoid GOCE maupun terhadap EGM 96 dan EIGEN 5C adalah sebagai berikut :
 - a. Selisih standar deviasi terkecil antara model geoid GOCE terhadap model EGM 96 adalah model DIR R2.
 - b. Selisih standar deviasi terkecil antara model geoid GOCE terhadap model EIGEN 5C adalah model DIR R2.
 - c. Selisih standar deviasi terkecil antar model geoid GOCE yaitu antara model TIM R2 dan TIM R3.
4. Perbandingan model undulasi geoid terhadap model geoid lokal pulau Jawa, memiliki

perbedaan tinggi undulasi geoid pada orde sentimeter. Sementara untuk nilai anomali gravitasi memiliki perbedaan pada orde mgal.

V.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan data gelombang menengah dan gelombang pendek untuk dapat menghasilkan model yang lebih akurat.
2. Pada penelitian selanjutnya hendaknya dapat mengevaluasi model geoid gravimetri dengan menggunakan model geoid geometri.
3. Penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan metode dan perangkat lunak lainnya.

Daftar Pustaka

- Kahar, 2008. Geodesi. Penerbit ITB. Bandung
- Kiamehr, R. 2006. *Precise Gravimetric Geoid Model for Iran Based on GRACE and SRTM Data and the Least-Squares Modification of Stokes' Formula with Some Geodynamic Interpretations. Doctoral Dissertation in Geodesy. Division of Geodesy, Department of Transport and Economics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Swedia*
- Triarahmadhana, Bagas. 2014. *Evaluation of GOCE's Global Geopotential Model to The Accuration of Local Geoid (Case Study on Island of Java, Indonesia)*. Jurusan Teknik Geomatika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Pustaka dari Situs Internet :
- Prasetyo, Y. 2009. *Konsep Sistem Tinggi*. <https://yudopotter.wordpress.com/2009/02/17/konsep-sistem-tinggi-geodesi/>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2015