

Pembuatan Model Geoid Lokal Menggunakan Data Gayaberat *Airborne* dan Model Geoid Global (EGM2008) (Studi Kasus: Pulau Bali)

Development of Local Geoid Model Using Airborne Gravity Data and Global Geoid Model (EGM2008) (Case Study: Bali Island)

Muhammad Rafly Putra Kusuma¹, Ira Mutiara Anjasmara^{1*}, Arisauna Maulidyan Pahlevi²

¹Departemen Teknik Geomatika, FTSLK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

²Badan Informasi Geospasial, Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong 16911, Indonesia

*Korespondensi penulis: ira@geodesy.its.ac.id

Diterima: 10092022; Diperbaiki: 23092022; Disetujui: 24092022; Dipublikasi: 01102022

Abstrak: Sistem GPS (*Global Positioning System*) sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi. Geoid merupakan permukaan dasar geodesi fisik yang didefinisikan sebagai permukaan ekuipotensial yang berhimpit dengan tinggi permukaan laut rata-rata. Geoid juga merupakan referensi tinggi yang dipakai dalam penentuan tinggi orthometrik. Studi kasus yang diambil pada penelitian ini mencakup seluruh wilayah Pulau Bali. Penulis melihat bahwa masih minim informasi ataupun penelitian tentang model geoid Pulau Bali sehingga melakukan penelitian ini. Lokasi yang digunakan dalam penelitian meliputi seluruh wilayah Pulau Bali. Data yang digunakan berupa model geoid global EGM2008 yang mewakili komponen gelombang panjang, DEMNAS Pulau Bali yang mewakili komponen gelombang pendek, dan nilai gayaberat *airborne* yang mewakili komponen gelombang menengah. Pengolahan komponen gelombang panjang mendapatkan nilai anomali gayaberat sebesar -10mGal hingga 150mGal. Pengolahan komponen gelombang pendek mendapatkan nilai anomali gayaberat yang cukup kecil yaitu sebesar -50mGal hingga 0mGal. Pengolahan komponen gelombang menengah didapatkan nilai *Free Air Anomaly* (FAA) pada ketinggian terrain sebesar -100mGal hingga 300mGal. Kesimpulan yang didapatkan yaitu data anomali gayaberat *free-air* di Pulau Bali yang didapatkan dari pengukuran gayaberat *airborne* dapat dioptimalkan sebagai komponen gelombang menengah dalam proses pemodelan geoid Pulau Bali. Proses pemodelan geoid dilakukan dengan penjumlahan kontribusi dari data model geoid global (EGM2008), data DEMNAS, dan data anomali gayaberat *free-air*, sehingga dihasilkan model geoid total serta anomali gayaberat dan undulasi geoid pada tiap komponen gelombang. Uji akurasi model geoid total dengan 184 titik jalur validasi di Pulau Bali menghasilkan akurasi sebesar 52.5 cm dengan standar deviasi sebesar 28.9 cm. Nilai akurasi dari model geoid total yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan model geoid global (EGM2008).

Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.

Abstract: The GPS (*Global Positioning System*) system has been widely applied, especially those related to applications that demand position information. Geoid is a physical geodetic base surface which is defined as an equipotential surface that coincides with the mean sea level. The case studies taken in this study cover the entire island of Bali. The author sees that there is still minimal information or research on the Bali Island geoid model so that he conducts this research. The location used in the study covers the entire island of Bali. The data used in the form of the global geoid model EGM2008 which represents the long wave component, DEMNAS Bali Island which represents the short wave component, and airborne gravity values which represent the medium wave component. Processing of long wave components obtains gravity anomaly values of -10mGal to 150mGal. The processing of short wave components obtains a fairly small gravity anomaly value of -50mGal to 0mGal. Intermediate wave component processing obtained *Free Air Anomaly* (FAA) values at terrain heights of -100mGal to 300mGal. The conclusion obtained is that the *free-air* gravity anomaly data on the island of Bali obtained from airborne gravity measurements can be optimized as a medium wave component in the geoid modeling process for the island of Bali. The geoid modeling process is carried out by adding the contributions from the global geoid model data (EGM2008), DEMNAS data, and *free-air* gravity anomaly data, so that a total geoid model and gravity anomaly and geoid undulation are generated for each wave component. The total geoid model accuracy test with 184 point validation paths on the island of Bali resulted in an accuracy of 52.5 cm with a standard deviation of 28.9 cm. The accuracy value of the resulting total geoid model is higher than the global geoid model (EGM2008).

Kata kunci: Geoid, EGM2008, DEMNAS, Gayaberat *Airborne*

Cara untuk sitasi: Kusuma, M.R.P., Anjasmara, I.M., & Pahlevi, A.M. (2022). Pembuatan Model Geoid Lokal Menggunakan Data Gayaberat *Airborne* dan Model Geoid Global (EGM2008) (Studi Kasus: Pulau Bali). *Geoid*, 18(1), 185-196.

Pendahuluan

GPS mempunyai banyak kelebihan dan menawarkan lebih banyak keuntungan, baik dalam segi operasionalnya maupun kualitas posisi yang diberikan. Meskipun keuntungan yang dapat diperoleh dari penggunaan GPS jauh lebih banyak, ada beberapa hal keterbatasan yang harus diperhatikan dalam pemakaian GPS, salah satunya komponen tinggi dari koordinat tiga dimensi yang diberikan oleh GPS adalah tinggi yang mengacu ke permukaan ellipsoid (tinggi ellipsoid). Jadi tinggi titik yang didapatkan dengan GPS bukanlah tinggi orthometris, yaitu tinggi yang mengacu pada permukaan geoid (Abidin, 2000). Untuk mentransformasikan tinggi ellipsoid ke tinggi orthometris, diperlukan data undulasi yang dihasilkan dari model geoid di suatu wilayah (Fotopoulos, Kotsakis, & Sideris, 2003).

Geoid disebut sebagai model bumi yang mendekati sesungguhnya. Geoid merupakan permukaan dasar geodesi fisik yang didefinisikan sebagai permukaan ekuipotensial yang berhimpit dengan tinggi permukaan laut rata-rata (Heiskanen & Moritz, 1967). Pada ilmu geodesi, geoid bereferensi terhadap ellipsoid karena ellipsoid merupakan model matematis pendekatan bumi. Jarak geoid terhadap ellipsoid disebut undulasi (N). Nilai undulasi geoid tidak sama di setiap tempat disebabkan oleh ketidakseragaman sebaran densitas massa bumi (Padama, 2016).

Menurut Peraturan Badan Informasi Geospasial nomor 13 tahun 2021 tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia (SRGI) menyebutkan bahwa geoid Indonesia digunakan sebagai sistem referensi geospasial vertikal nasional, maka model geoid harus tersedia di seluruh wilayah Indonesia. Data gayaberat yang rapat di seluruh Indonesia diperlukan untuk memodelkan geoid Indonesia (Pangastuti & Sofian, 2015). Pemanfaatan EGM2008 bisa digunakan untuk pemodelan geoid Indonesia, namun ketelitiannya masih rendah.

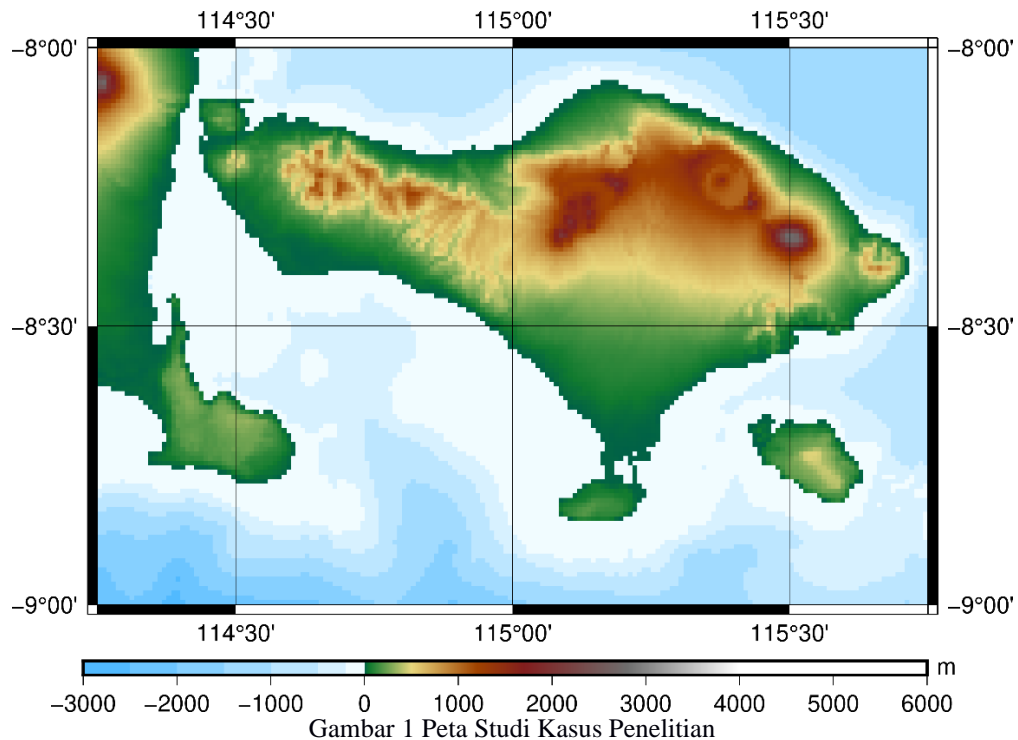
EGM2008 merupakan model potensial gayaberat bumi yang dikembangkan dengan kombinasi kuadrat terkecil dari model gayaberat ITG-GRACE03S dan diasosiasikan dengan matriks kesalahan kovarian. Informasi gayaberat didapatkan dari pengukuran anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2.5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari *airborne*. EGM2008 dilengkapi dengan derajat hingga 2160 dan terdiri dari koefisien tambahan hingga 2190 (National Geospatial-Intelligence Agency, 2021).

Berdasarkan penelitian terdahulu, penulis mengusulkan judul penelitian “Pembuatan Model Geoid Lokal Menggunakan Data Gayaberat *Airborne* Dan Model Geoid Global (EGM2008) (Studi Kasus: Pulau Bali)”. Adapun perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu yaitu terletak pada studi kasus dan hasil akhir penelitian. Studi kasus yang diambil pada penelitian ini mencakup seluruh wilayah Pulau Bali. Penulis melihat bahwa masih minim informasi ataupun penelitian tentang model geoid Pulau Bali sehingga melakukan penelitian ini.

Data dan Metode

1. Lokasi Penelitian

Studi kasus dalam penelitian ini meliputi seluruh wilayah Pulau Bali. Secara geografis, Pulau Bali terletak antara 8°25'23" LS dan 115°14'55" BT. Pulau Bali berbatasan langsung dengan Laut Bali di sebelah utara, dengan Selat Lombok di sebelah timur, dengan Samudera Hindia di sebelah selatan, serta dengan Selat Bali di sebelah barat.



2. Data dan Peralatan

Secara umum penentuan geoid membutuhkan distribusi data global. Namun, untuk pekerjaan di area lokal, medan gayaberat disekitar area dapat diwakili oleh *spherical harmonic* data dari model EGM2008 *degree* 360. Kontribusi data berikut kemudian harus direduksi dari data lokal dan kemudian dikembalikan dengan metode *remove-compute-restrore*.

Data-data yang digunakan dalam pengolahan data gayaberat *airborne* antara lain:

- Data koordinat X, Y dari hasil pengolahan data GNSS.
- Data tinggi terbang pesawat dan lebar window.
- Data anomali gayaberat (FAA) pada ketinggian rata-rata pesawat.

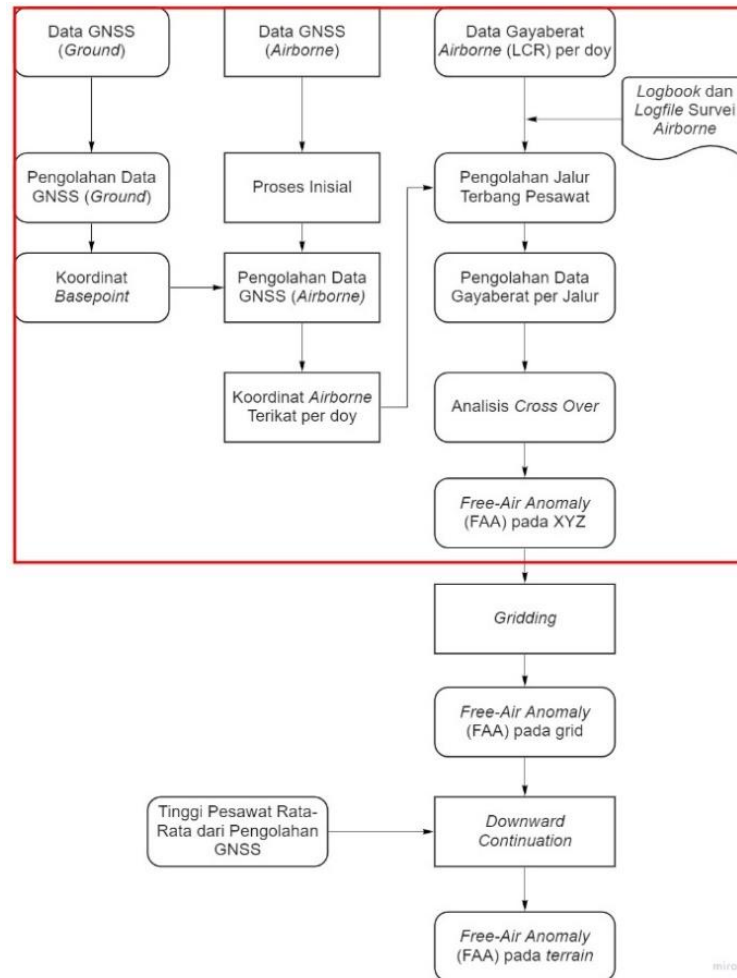
Data yang digunakan dalam pembuatan model geoid antara lain:

- Data model geoid global yang direpresentasikan oleh EGM2008 (N = 360)
- Data topografi yang direpresentasikan oleh DEMNAS
- Data anomali gayaberat (FAA) pada ketinggian terrain
- Data GPS dan Levelling untuk validasi

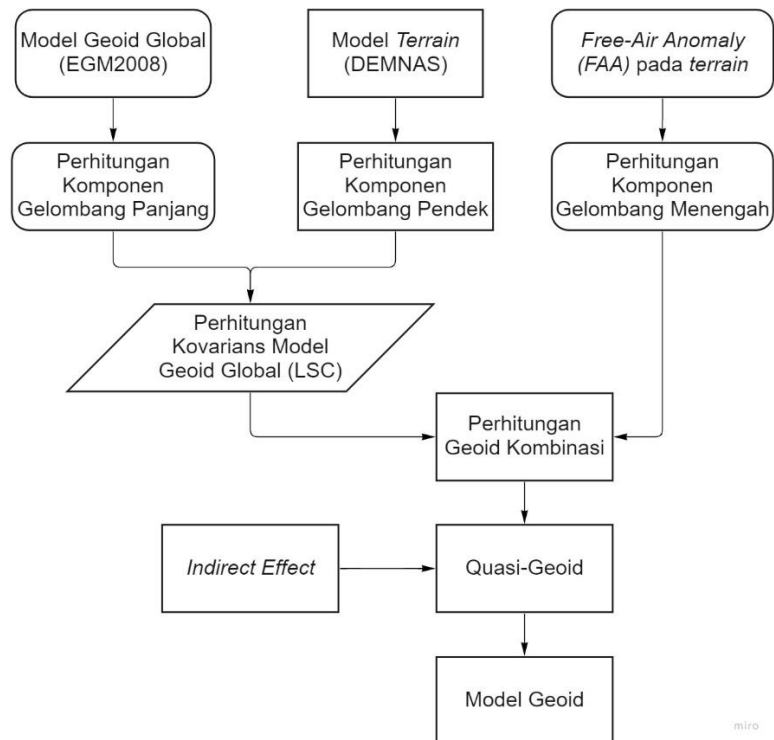
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain perangkat lunak yang dikembangkan oleh NCTU dengan memodifikasi dari *coding-coding* yang dipakai pada perangkat lunak GRAVSOFIT untuk pemodelan geoid dengan memperhatikan rentang nilai masing-masing data pada masing-masing komponen sehingga menghasilkan gambar plot dengan kualitas tampilan yang baik sesuai dengan nilai masing-masing anomali gayaberat dan undulasi geoid. Sedangkan untuk pengeplotan hasil model geoid yang telah dihasilkan menggunakan perangkat lunak *Generic Mapping Tools* (GMT).

3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

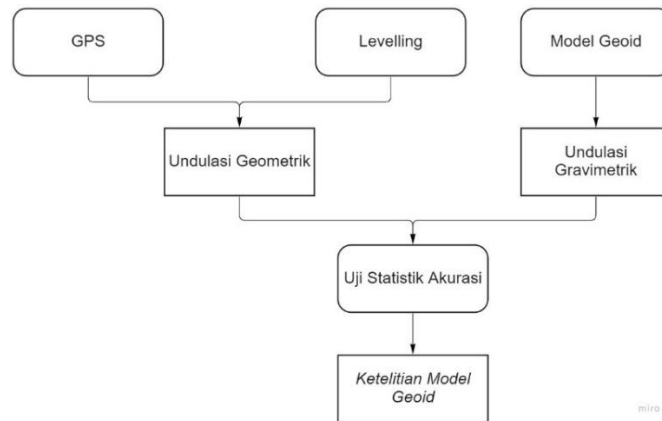
Secara umum, tahapan pelaksanaan penelitian dibagi menjadi 3, yaitu Pengolahan Data Gayaberat, Pemodelan Geoid, dan Validasi Model Geoid yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 2 hingga Gambar 4.



Gambar 2 Diagram Alir Pengolahan Data Gayaberat



Gambar 3 Diagram Alir Pemodelan Geoid



Gambar 4 Diagram Alir Validasi Model Geoid

Kotak merah pada Gambar 2 merupakan data sekunder dimana proses pengolahan data dilakukan oleh BIG. Proses Pengolahan Data Gayaberat diawali dengan pengolahan Data GNSS yang mencakup *initial processing*. Proses ini diperlukan untuk melihat data yang menghasilkan data per *doy* tidak *error* dan jalur terbang dapat tergambar dengan baik. Kemudian dilakukan pengolahan data GNSS di darat menggunakan file *precise ephemeris* dan diolah dengan perangkat lunak GAMIT dengan metode *differential* terikat pada SRGI 2013. Setelah itu, dilakukan pengolahan data GNSS di pesawat menggunakan file navigasi *precise ephemeris* dan diolah dengan perangkat lunak GAMIT sehingga dihasilkan koordinat yang lebih baik akurasinya dibandingkan *initial processing*.

Tahap kedua, dilakukan pengolahan Data Gayaberat yang mencakup pengolahan jalur terbang pesawat. Pengolahan ini dilakukan per *day of year* (*doy*), dimana dalam satu *doy* dimungkinkan terdiri dari beberapa *line* pengukuran antara 2 – 5 *line*. Kemudian, dilakukan pengolahan data gayaberat per jalur. Pengolahan data gayaberat per *line* terbang diolah menggunakan pengembangan formulasi Integral Stokes. Setelah itu, analisis *crossover* dilakukan dengan cara membandingkan nilai anomali gayaberat di titik persilangan jalur terbang. Hasil analisis ini merupakan anomali gayaberat *free-air* (FAA) dalam bentuk XYZ. Terakhir, proses *downward continuation* dilakukan karena nilai FAA dalam bentuk XYZ adalah nilai FAA di ketinggian pesawat sehingga tidak menggambarkan nilai FAA yang sesungguhnya. Ketinggian yang dipakai untuk melakukan *downward* adalah tinggi pesawat rata-rata dari hasil pengolahan GNSS. Hasil dari proses ini adalah FAA di ketinggian terain.

Terkait proses pemodelan geoid, tahapan yang dilakukan adalah, pertama, perhitungan komponen gelombang panjang. Pada pengolahan ini digunakan data *spherical harmonic coefficient* pada model geoid global EGM2008 *degree* 360, diproses menggunakan program yang disebut GMOD/GEOEGM. Program ini digunakan untuk menghitung anomali gayaberat dan undulasi geoid dari EGM2008. Kemudian dilakukan perhitungan komponen gelombang pendek. Pada pengolahan ini digunakan data DEMNAS hasil *resampling* 30' sebagai *detailed surface* dan DEMNAS hasil *resampling* 5' sebagai *reference surface*, diproses menggunakan program yang disebut TCFOUR untuk koreksi terrain dan menghitung nilai *indirect effect*. Program ini digunakan untuk menghitung anomali gayaberat dan undulasi geoid dari data DEMNAS. Setelah itu, dilakukan perhitungan kovarian model geoid global. Data masukan berupa nilai-nilai *spherical harmonic* dari model geoid global yang digunakan, yaitu EGM2008. Selanjutnya dilakukan perhitungan varian model geoid global dimana outputnya akan digunakan sebagai input proses selanjutnya yaitu nilai kovarian dari model geoid global. Tahap selanjutnya adalah perhitungan komponen gelombang menengah. Pada pengolahan ini digunakan data *spherical harmonic coefficient* sebagai input dalam perhitungan nilai kovarian menggunakan program ERRVAR-V2 dan F300. Perhitungan nilai residual anomali gayaberat dilakukan dengan metode *remove-compute-restore* (RCR). Sedangkan perhitungan nilai residual undulasi geoid dilakukan dengan menggunakan program COLLOGC/GEOCOL. Kemudian dilakukan perhitungan geoid. Geoid dihasilkan dari penjumlahan kontribusi ketiga komponen gelombang, yaitu komponen gelombang panjang, menengah, dan pendek. Namun demikian, dalam beberapa studi literatur disebutkan bahwa geoid yang dihasilkan dari penjumlahan ketiga komponen gelombang tersebut baru dapat disebut, *quasi-geoid* (geoid

yang belum dikoreksi). Oleh sebab itu, untuk mendapatkan geoid yang sesungguhnya, *quasi-geoid* perlu untuk dikoreksi.

Proses paling akhir adalah dilakukan validasi Model Geoid menggunakan uji statistik akurasi. Uji statistik akurasi dilakukan pada model geoid total dan EGM2008 dengan menggunakan titik jalur validasi milik BIG. Kemudian dilakukan perbandingan hasil uji statistik akurasi. Perbandingan dilakukan antara model geoid total dengan INAGEOID2020 milik BIG yang dapat diakses oleh siapapun pada situs resmi milik BIG.

Hasil dan Pembahasan

1. Pemodelan Geoid

Proses pemodelan geoid dibagi menjadi dua tahap yaitu *remove* dan *restore*. Proses *remove* dilakukan untuk menghasilkan anomali gayaberat residual. Persamaan untuk proses *remove* ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\Delta g = \Delta g_{short} + \Delta g_{long} + \Delta g_{res} \quad (1)$$

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{short} - \Delta g_{long} \quad (2)$$

Keterangan:

Δg_{short} : anomali gayaberat komponen gelombang pendek

Δg_{long} : anomali gayaberat komponen gelombang panjang

Δg_{res} : anomali gayaberat observasi residual

Δg : anomali gayaberat observasi hasil perhitungan

Sedangkan proses *restore* dilakukan penjumlahan kembali komponen-komponen yang membentuk geoid.

Persamaan untuk proses *restore* ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$N_{total} = N_{res} + N_{long} + N_{short} \quad (3)$$

Keterangan:

N_{total} : nilai akhir model geoid

N_{long} : nilai geoid dari komponen gelombang panjang

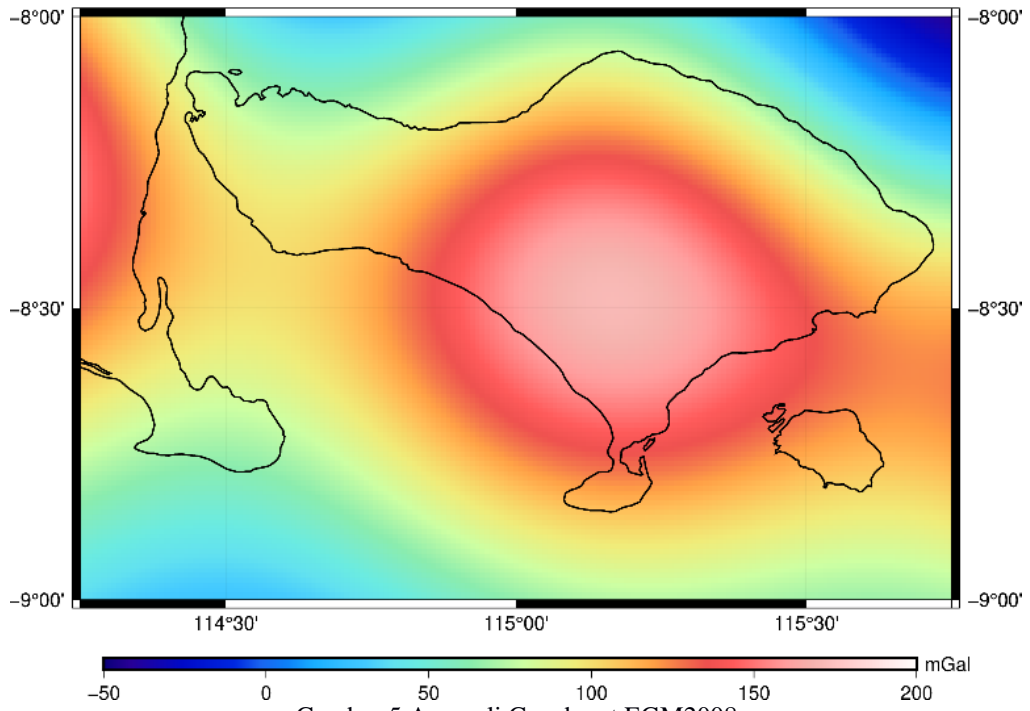
N_{short} : nilai geoid dari komponen gelombang pendek

N_{res} : geoid residual dari perhitungan Δg_{res} dengan metode *Least Square Collocation* (LSC).

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh NCTU dengan memodifikasi dari *coding-coding* yang dipakai pada perangkat lunak GRAVSOFTE dengan memperhatikan rentang nilai masing-masing data pada masing-masing komponen sehingga menghasilkan gambar plot dengan kualitas tampilan yang baik sesuai dengan nilai masing-masing anomali gayaberat dan undulasi geoid.

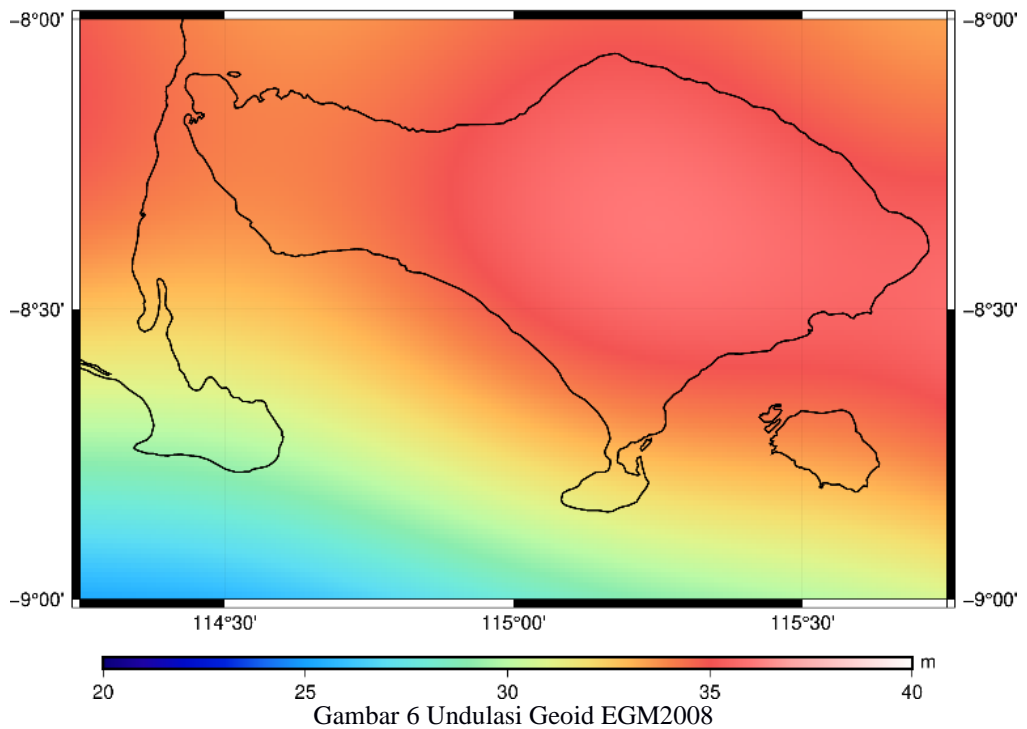
Pada hasil pengolahan komponen gelombang panjang didapatkan nilai anomali gayaberat pada model geoid global EGM2008 sebesar -41 mGal hingga 170 mGal. Selain itu, didapatkan nilai undulasi geoid pada model geoid global EGM2008 sebesar 25 m hingga 36 m. Pada hasil pengolahan komponen gelombang pendek didapatkan nilai anomali gayaberat pada data DEMNAS sebesar -140 mGal hingga 82 mGal, serta didapatkan nilai undulasi geoid pada data DEMNAS sebesar -0.2 m hingga 0.3 m. Pada hasil pengolahan komponen gelombang menengah, didapatkan nilai anomali gayaberat pada komponen gelombang menengah sebesar -16 mGal hingga 278 mGal, serta didapatkan nilai undulasi geoid pada komponen gelombang menengah sebesar -0.2 m hingga 1 m. Kemudian, terkait model geoid total, pada hasil pengolahan didapatkan model quasi-geoid Pulau Bali dengan nilai sebesar 25 m hingga 36 m. Namun dikarenakan ini masih model quasi-geoid, maka perlu dilakukan koreksi pada nilai quasi-geoid tersebut dengan nilai indirect effect. Hasil dari koreksi, didapatkan didapatkan model geoid total Pulau Bali dengan nilai sebesar 25 m hingga 36 m.

Anomali Gayaberat EGM2008



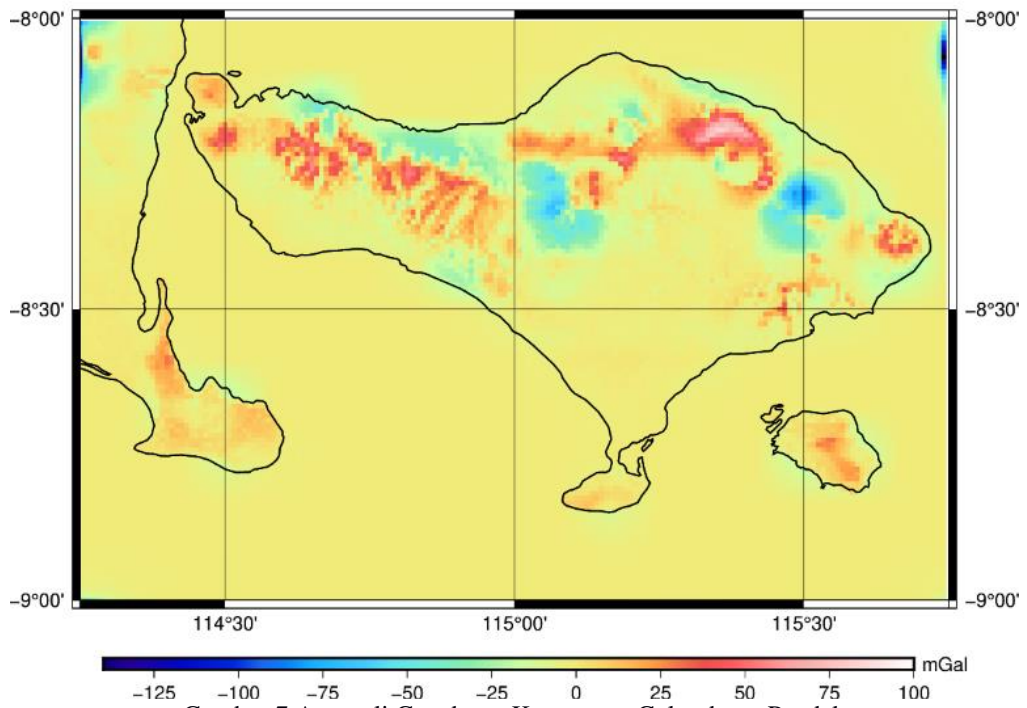
Gambar 5 Anomali Gayaberat EGM2008

Undulasi Geoid EGM2008



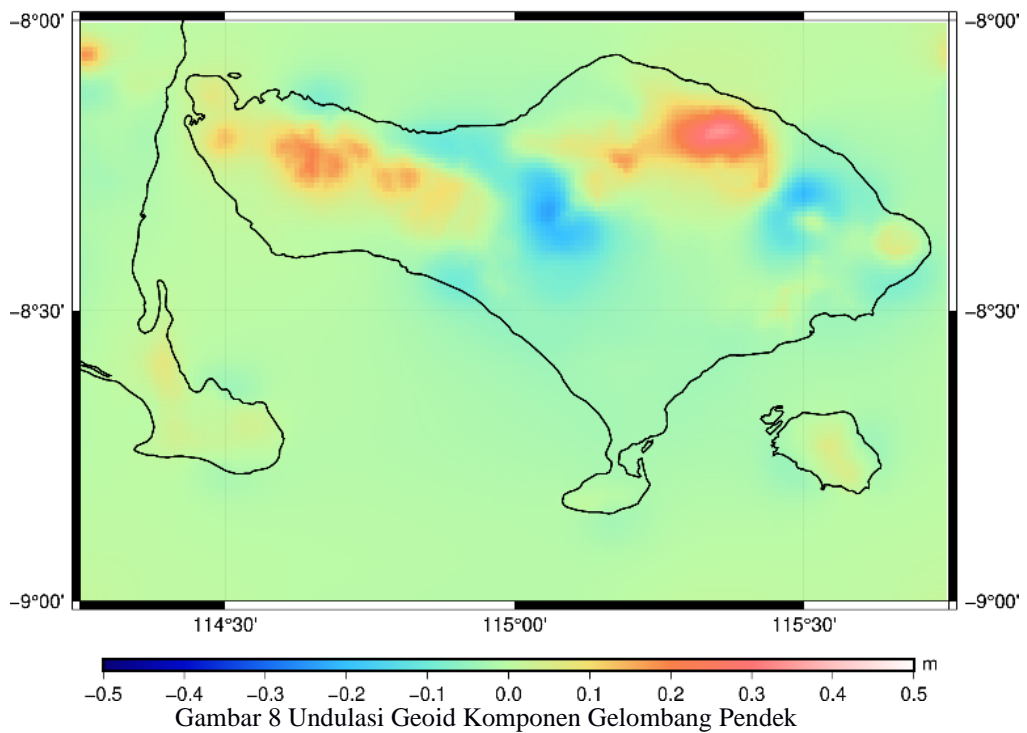
Gambar 6 Undulasi Geoid EGM2008

Anomali Gayaberat Gelombang Pendek



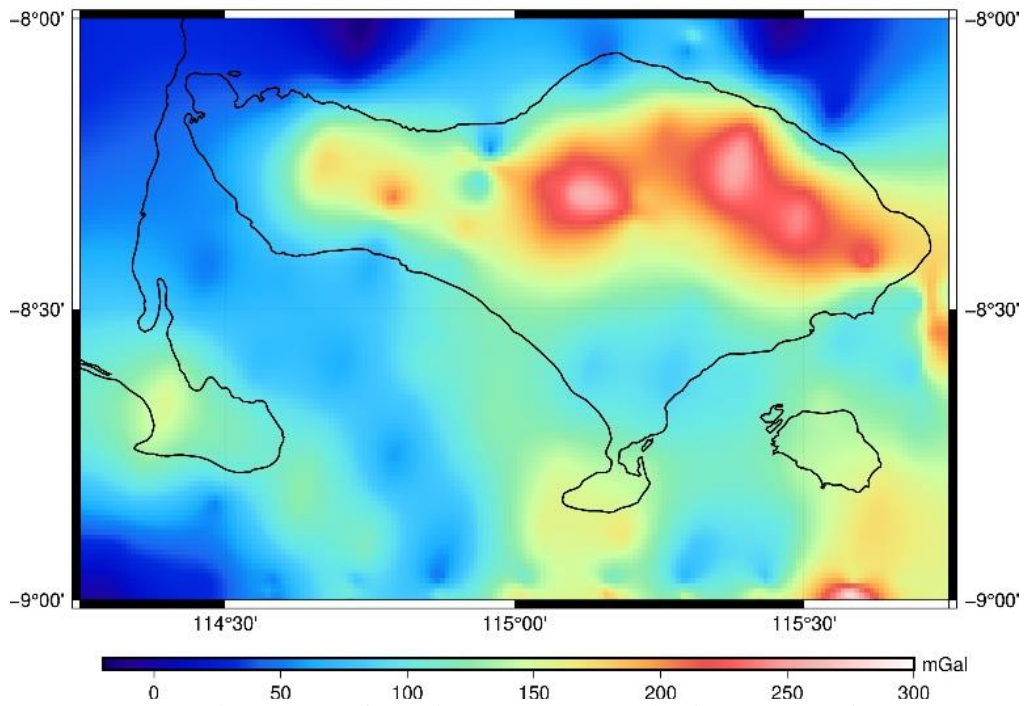
Gambar 7 Anomali Gayaberat Komponen Gelombang Pendek

Undulasi Geoid Gelombang Pendek



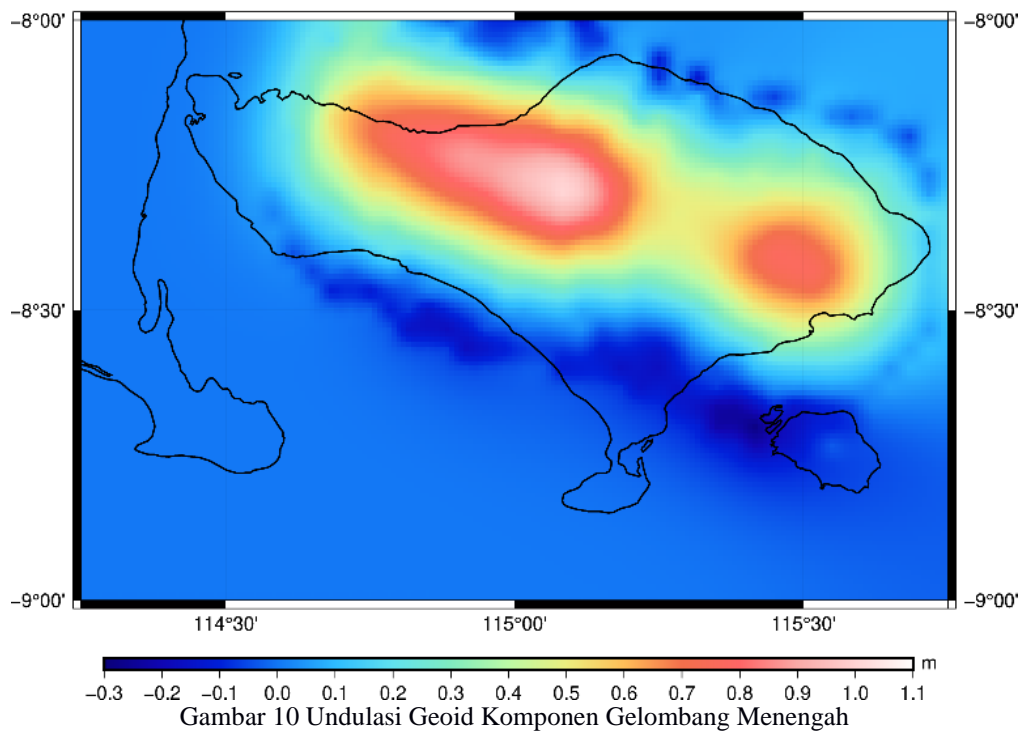
Gambar 8 Undulasi Geoid Komponen Gelombang Pendek

Anomali Gayaberat Gelombang Menengah



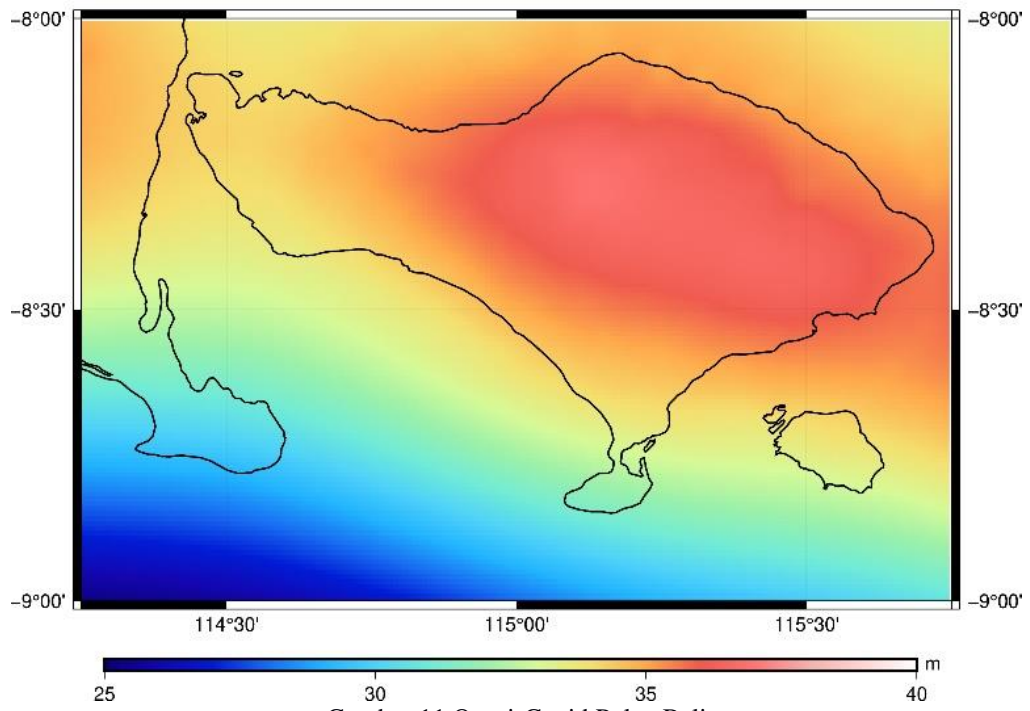
Gambar 9 Anomali Gayaberat Komponen Gelombang Menengah

Undulasi Geoid Gelombang Menengah



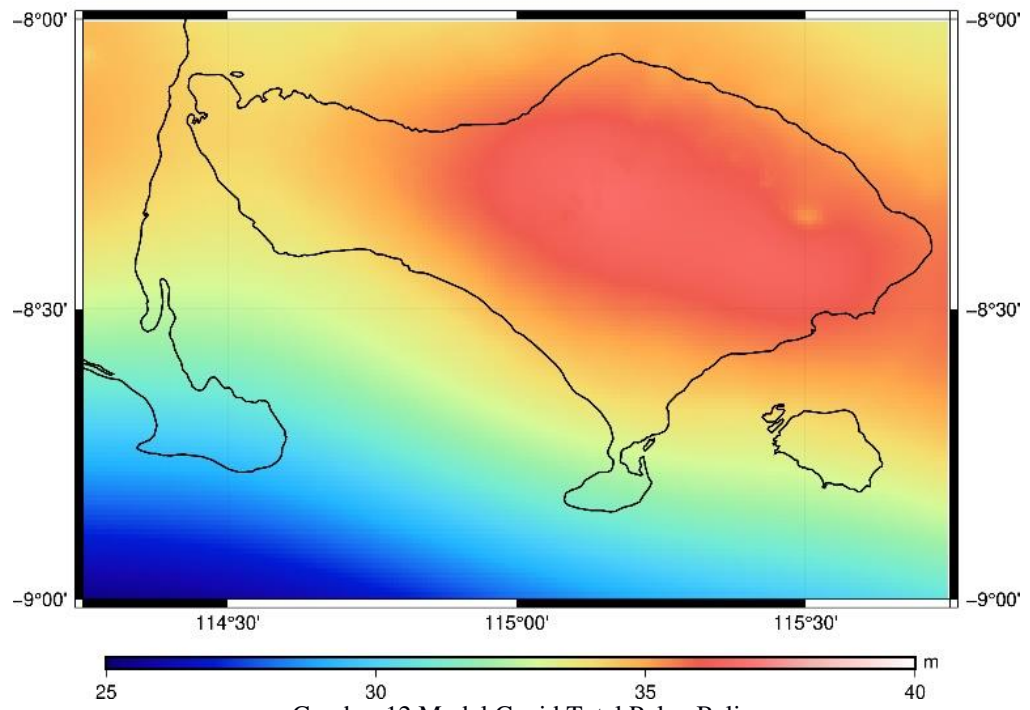
Gambar 10 Undulasi Geoid Komponen Gelombang Menengah

Quasi-Geoid Pulau Bali



Gambar 11 Quasi-Geoid Pulau Bali

Model Geoid Total Pulau Bali



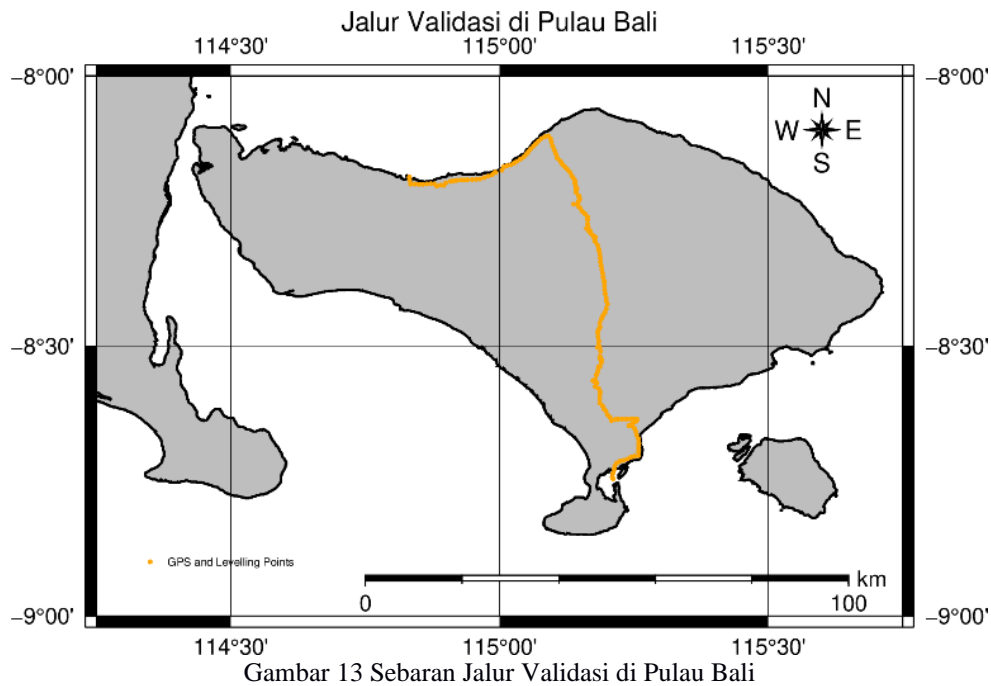
Gambar 12 Model Geoid Total Pulau Bali

2. Validasi Model Geoid

Pada penelitian ini, proses validasi dilakukan dengan 2 tahapan. Tahap pertama yaitu dengan melakukan uji statistik akurasi pada model geoid total dan EGM2008 dengan menggunakan titik jalur validasi milik BIG dan tahap kedua yaitu dengan membandingkan hasil uji akurasi statistik model geoid total dengan INAGEOID2020 milik BIG yang dapat diakses pada situs resmi milik BIG.

a. Uji statistik akurasi

Dalam validasi ini dilakukan dengan menggunakan Jalur Validasi milik BIG. Jalur tersebut berupa 184 titik yang tersebar membentuk garis yang membujur pada wilayah Pulau Bali bagian tengah. Titik-titik tersebut digambarkan sebagai berikut.



Kemudian dilakukan uji statistik dengan membandingkan hasil validasi model geoid total dengan model geoid global (EGM2008) sebagai pembanding untuk mengetahui bahwa model geoid total yang dihasilkan dapat mencapai ketelitian yang lebih tinggi.

Tabel 1 Hasil Uji Akurasi Model Geoid Total

Undulasi Geoid (N)	Min (cm)	Maks (cm)	Rata-rata (cm)	RMS error (cm)	StDev (cm)
Model Geoid Total	-122.9	25.9	-43.8	52.5	28.9
EGM2008	-187.2	36.0	-75.5	91.8	52.4

Dari penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan model anomali gayaberat dan undulasi geoid dari data komponen-komponen gelombang. Pengujian akurasi undulasi geoid yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan 184 titik jalur validasi di Pulau Bali, pengujian tersebut menghasilkan akurasi sebesar 52.5 cm pada undulasi geoid gravimetrik dengan standar deviasi sebesar 28.9 cm. Sedangkan pada undulasi geoid geometrik menghasilkan akurasi sebesar 91.8 cm dengan standar deviasi sebesar 52.4 cm.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa model geoid yang didapatkan dari pengolahan data pengukuran gayaberat *airborne* memiliki akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan model geoid global (EGM2008). Namun hasil tersebut masih dibawah standar BIG yaitu 15 cm.

b. Perbandingan hasil uji statistik akurasi

Dikarenakan hasil akurasi yang dihasilkan masih cukup besar, maka dilakukan analisa tambahan dengan membandingkan hasil model geoid total dengan INAGEOID2020 milik BIG.

Tabel 2 Perbandingan Nilai Akurasi Model Geoid Total

Undulasi Geoid N	Jumlah Titik Validasi	Ketelitian (cm)
Model Geoid Total	184	52.48
INAGEOID2020	184	21.67

Terlihat pada tabel diatas bahwa hasil ketelitian model geoid total dan INAGEOID2020 dengan menggunakan 184 titik jalur validasi yang sama di Pulau Bali memiliki hasil yang berbeda dan memiliki selisih sebesar 30.81 cm. Hal tersebut kemungkinan disebabkan pada saat pengolahan data gayaberat *airborne* tidak menggunakan data gayaberat terestris dan juga pada saat proses validasi yang mana INAGEOID2020 difittingkan terhadap *Benchmark* (BM) stasiun pasang surut.

Kesimpulan

Uji akurasi model geoid total dengan 184 titik jalur validasi menghasilkan akurasi sebesar 52.5 cm dengan standar deviasi sebesar 28.9 cm. Nilai akurasi dari model geoid total lebih tinggi dibandingkan dengan model geoid global (EGM2008). Namun hasil tersebut masih dibawah standar BIG yaitu 15 cm. Data jalur validasi yang digunakan akan lebih baik jika tersebar merata di seluruh wilayah Pulau Bali. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan data gayaberat terestris untuk mendapatkan model geoid yang lebih baik.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geodesi dan Geodinamika Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah membantu memberikan fasilitas penunjang dalam proses pengolahan data pada penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah membantu dalam penyediaan data pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. (2000). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Fotopoulos, G., Kotsakis, C., & Sideris, M. (2003). How Accurately Can We Determine Orthometric Height Differences From GPS And Geoid Data? *Journal of Surveying Engineering*, 1-10.
- Heiskanen, W., & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. San Fransisco: W.H. Freeman and Company.
- NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY. (2021, Desember 1). *Office of Geomatics*. Retrieved from NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY: <https://earth-info.nga.mil/>
- Padama, T. (2016). *Analisa Penentuan Undulasi Geoid dengan Metode Gravimetri (Studi Kasus: Surabaya)*. Surabaya: Program Magister Teknik Geomatika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pangastuti, D., & Sofian, I. (2015). Validasi Geoid EGM2008 di Jawa dan Sumatra dengan Menggunakan Parameter Mean Dynamic Topography (MDT) Pada Geoid Geometris. *Majalah Globe Vol. 17 No. 1 Juni 2015*, 079-088.



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).