

# EVALUASI DATA GRAVITASI TERESTRIAL DAN PERBANDINGANNYA DENGAN DATA GRAVITASI SKALA REGIONAL DAN MODEL GEOPOTENSIAL GLOBAL: STUDI KASUS ZONA SESAR CIMANDIRI DI SEKITAR PELABUHAN RATU

## EVALUATION OF TERESTRIAL GRAVITY DATA AND ITS COMPARISON WITH REGIONAL SCALE GRAVITY DATA AND GLOBAL GEOPOTENTIAL MODEL: A CASE STUDY OF CIMANDIRI FAULT ZONE AROUND PELABUHAN RATU

Ilham Arisbaya<sup>1\*</sup>, Lina Handayani<sup>1</sup>, Yayat Sudrajat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI. Bandung - Indonesia  
Gedung 70 Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung - Indonesia

\*E-mail: [arisbaya.ilham@gmail.com](mailto:arisbaya.ilham@gmail.com)

Naskah masuk: 1 Februari 2018; Naskah diperbaiki: 27 Desember 2018; Naskah diterima: 14 Maret 2019

### ABSTRAK

Dalam rangka mempelajari karakteristik Zona Sesar Cimandiri (ZSC), telah dilakukan pengukuran metode gravitasi di sekitar Pelabuhanratu. Kegiatan ini menghasilkan 53 data pengukuran baru dengan interval jarak 750-1500 meter (selanjutnya disebut GCG16). Untuk menggambarkan tingkat kualitas data yang dihasilkan, GCG16 dievaluasi dengan cara dibandingkan dengan dataset gravitasi skala regional dan global terpublikasi. Secara visual peta GCG16 memperlihatkan pola anomali gravitasi yang sama dengan data gravitasi regional (GRAV-P3G), model geopotensial global data satelit (EIGEN-6S2 dan GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5), serta model geopotensial global kombinasi (EGM2008 dan EIGEN-6C4). Dataset GRAV-P3G yang juga merupakan hasil pengukuran terestrial menunjukkan tingkat kesesuaian paling tinggi dengan GCG16. Sementara model potensial global kombinasi menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih baik jika dibandingkan dengan model geopotensial data satelit. Keenam dataset memperlihatkan pola Anomali Bouguer tinggi di bagian selatan area penelitian, mengindikasikan kontribusi dari frekuensi rendah. Variasi anomali tinggi di sekitar Sungai Cimandiri tidak teramati pada data gravitasi satelit, diinterpretasikan sebagai kontribusi dari frekuensi tinggi (berkorelasi dengan kondisi bawah permukaan lebih dangkal). Oleh karena itu untuk mempelajari struktur dangkal CFZ perlu dilakukan pemisahan anomali residual dari anomali regionalnya. Analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *First Vertical Derivative* (FVD) tidak menunjukkan kehadiran ZSC pada segmen timur GCG16, dan mengindikasikan ZSC sebagai sistem sesar yang tersegmentasi.

**Kata kunci:** Gravitasi terestrial, gravitasi regional, model geopotensial global, Pelabuhanratu

### ABSTRACT

*In order to study the characteristics of Cimandiri Fault Zone (CFZ), gravity method measurement has been done around Pelabuhanratu. This activity resulted in 53 new measurement data with intervals of 750-1500 meters (hereafter referred to as GCG16). To illustrate the quality level of resulted data, GCG16 was evaluated by comparing with published regional and global scale gravity datasets. Visually, GCG16 maps show the same gravity anomalies pattern with regional gravity data (GRAV-P3G), global geopotential model of satellite data (EIGEN-6S2 and GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5), as well as combined global geopotential model (EGM2008 and EIGEN-6C4). GRAV-P3G dataset, which is also a result of terrestrial measurement, shows the highest agreement level to GCG16. The six datasets show a high Bouguer Anomaly pattern in the southern part of the research area, indicating the contribution of low frequencies. High anomaly variations around the Cimandiri River were not observed in satellites gravity data and interpreted as high frequencies contribution (correlated with more superficial subsurface conditions). Therefore, in order to study the shallow structure of the CFZ, it is necessary to separate the residual anomaly from the regional anomaly. First Horizontal Derivative (FHD) and First Vertical Derivative (FVD) analysis do not show the presence of CFZ in the eastern segment of GCG16 and indicates that CFZ is a segmented fault system.*

**Keywords:** GCG16, regional gravity, global geopotensial model, Pelabuhanratu

## 1. Pendahuluan

Kelurusan morfologi sepanjang sekitar 100 kilometer teramati dari mulai Pelabuhanratu, Sukabumi, Cianjur, Padalarang hingga wilayah Bandung, dikenal sebagai Zona Sesar Cimandiri (ZSC). Beberapa faktor menjadi kendala dalam penelitian fitur morfologi ZSC. Faktor pertama adalah rendahnya nilai laju pergeseran (*slip-rate*) ZSC [1], [2]. Faktor kedua adalah karena sebagian besar permukaan ZSC tertutupi oleh produk gunung api muda dan endapan laut dangkal berumur Eosen-Pliosen [3]–[8]. Kendala-kendala ini menjadikan metode geofisika pasif menjadi salah satu alternatif untuk mempelajari sistem bawah permukaan ZSC.

Salah satu metode geofisika pasif yang sering digunakan dalam penelitian sesar adalah metode gravitasi, terutama digunakan untuk mempelajari posisi dan geometrinya [9]–[11]. Metode gravitasi pada dasarnya mengukur densitas batuan sebagai penyusun kerak bumi. Interpretasi data gravitasi dapat memberikan gambaran bawah permukaan untuk menafsirkan batuan dasar, perubahan litologi secara lateral dan vertikal, serta struktur geologi. Dalam rangka mempelajari ZSC, telah dilakukan pengukuran metode gravitasi permukaan (selanjutnya disebut sebagai gravitasi terestrial) di sekitar Pelabuhanratu pada bulan Juni 2016 (selanjutnya disebut GCG16). Tulisan ini akan mengevaluasi data yang dihasilkan (GCG16), dengan tujuan untuk memberikan gambaran kualitas dan tingkat kepercayaan data. Hasil evaluasi juga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dan perbaikan pada proses kegiatan penelitian selanjutnya.

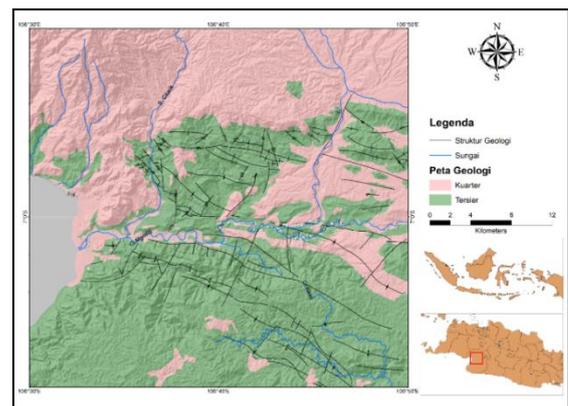
Evaluasi data GCG16 dilakukan melalui perbandingan dengan data gravitasi terpublikasi. Perbandingan pertama dilakukan dengan Peta Anomali Bouguer Pulau Jawa skala regional [12]. Peta ini merupakan hasil pengukuran gravitasi terestrial yang dilakukan oleh P3G (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, sekarang Pusat Survei Geologi / PSG). Dalam tulisan ini, data gravitasi skala regional selanjutnya disebut GRAV-P3G. Data gravitasi terestrial menggambarkan dengan baik medan gravitasi lokal, namun rentan terhadap *systematic error* [13]. Galat dihasilkan pada saat pengolahan data, terutama berasal dari ketidakpastian datum serta posisi stasiun pengukuran, (horizontal dan vertikal).

Peta GCG16 selanjutnya dibandingkan dengan model geopotensial global (selanjutnya disebut sebagai GGM), baik yang merupakan hasil pengolahan data satelit maupun yang merupakan hasil penggabungan data gravitasi satelit, pesawat (*airborne*) dan terestrial. Keunggulan data gravitasi satelit adalah pada cakupan wilayah yang dapat

melingkupi luasan regional hingga global, puluhan hingga ratusan kilometer [14], dan kemampuannya mengukur medan gravitasi frekuensi rendah dengan tingkat presisi tinggi [13]. Namun model geopotensial yang dihasilkan dari data gravitasi satelit juga memiliki kelemahan, yaitu rendahnya sensitivitas pada frekuensi tinggi serta *omission and commision error* yang dihasilkan dari proses penyelesaian persamaan *spherical harmonics* [15], [16]. Oleh karena itu, baik data pengukuran satelit maupun pengukuran terestrial menjadi saling melengkapi.

ZSC dalam peta geologi regional P3G [4]–[7] merupakan zona deformasi dengan lebar 10-15 kilometer, tersusun atas banyak sesar naik, sesar geser, dan lipatan seperti terlihat pada Gambar 1. Kajian sesar aktif terbaru membagi sesar ini menjadi 6 segmen, yaitu Segmen Loji, Cidadap, Nyalindung, Saguling, dan Padalarang [2]. Lebih lanjut para penulis ini berpendapat bahwa jika masing-masing segmen mengalami *rupture* secara terpisah, maka gempa bumi yang ditimbulkan cenderung menghasilkan magnitudo lebih kecil.

Karakterisasi sesar aktif sangatlah penting dilakukan untuk memahami mekanisme tektonik yang bekerja pada sistem sesar tersebut dan sebagai upaya mitigasi bahaya gempa bumi yang mungkin ditimbulkan. Tujuan utama dari tulisan ini adalah untuk mengevaluasi data gravitasi terestrial di sekitar Pelabuhanratu dan perbandingannya dengan data gravitasi regional serta GGM. Data ini kemudian akan digunakan sebagai salah satu metode alternatif dalam penelitian ZSC, khususnya mengenai segmentasinya.



Gambar 1. Peta geologi sederhana ZSC di sekitar Pelabuhanratu berdasarkan peta geologi regional dari P3G [4], [7]

## 2. Data dan Metode

Pengukuran gravitasi telah dilakukan pada 53 stasiun pengukuran dengan interval jarak 750 - 1500 meter, membentuk 2 (dua) lintasan berarah utara-selatan dan 1 (satu) lintasan utama barat-

timur dengan cakupan area sekitar 25x30 kilometer (Gambar 2). Instrumen yang digunakan adalah gravimeter LaCoste & Romberg type G-804 dengan ketelitian 0,01 mgal [17]. Pengukuran gravitasi dilakukan dengan sistem tertutup (*looping*), yaitu pengukuran dimulai dan diakhiri di stasiun pengukuran yang sama (*base station*) sebagai acuan untuk mendapatkan nilai koreksi apungan. Koordinat stasiun pengukuran ditentukan menggunakan GPS *handheld* dengan presisi diameter maksimum 5 meter. Elevasi ditentukan menggunakan altimeter AlpinEL (ketelitian 0,5 m) dengan koreksi suhu dan barograf. Reduksi data gravitasi dilakukan dengan beberapa koreksi meliputi koreksi pasang-surut, koreksi apungan, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan. Koreksi medan lokal dilakukan melalui pengamatan visual hingga Zona D menggunakan diagram Hammer [18].

GCG16 sebagai data terestrial memiliki sifat rentan terhadap *systematic error*. Pada data gravitasi terestrial, sangat sulit atau bahkan hampir tidak mungkin melakukan koreksi terhadap *systematic error* [19]. Hal ini dikarenakan kurangnya informasi kuantitatif mengenai galat-galat ini. Namun dalam penelitian ini kami mencoba melakukan evaluasi internal pada data GCG16 dengan analisis perambatan galat sederhana untuk memberikan gambaran kualitas data. Beberapa faktor yang dapat berkontribusi dalam perambatan galat adalah ketidakpastian datum gravitasi, batas ketelitian instrumen pengukuran, ketidakpastian dalam penentuan lokasi stasiun pengukuran (horizontal dan vertikal), serta faktor-faktor fenomena geodinamik [13]. Peta GCG16 kemudian dibandingkan dengan 5 (lima) dataset gravitasi yang telah terpublikasi, yaitu peta anomali gravitasi regional GRAV-P3G, model geopotensial EIGEN-6S2 [20] dan GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5 [21], EGM2008 [22], dan EIGEN-6C4 [23]. Dataset GGM dapat diunduh melalui situs *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM) [24].

Peta anomali gravitasi regional GRAV-P3G merupakan hasil pengukuran terestrial dengan interval antar stasiun pengamatan sekitar 5 kilometer. Dengan demikian peta GCG16 memiliki resolusi spasial yang lebih baik dari GRAV-P3G. EIGEN-6S2 dan GO\_CONS merupakan model geopotensial hasil pengolahan data satelit, dengan derajat dan orde koefisien *spherical harmonic* maksimum 260 dan 300 secara berurutan. Sementara EGM2008 merupakan hasil penggabungan data gravitasi satelit GRACE, satelit altimetri, *airborne*, dan pengukuran permukaan (selanjutnya disebut sebagai GGM kombinasi). Model ini memiliki derajat dan orde koefisien *spherical harmonic* maksimum 2190. GGM lain yang digunakan adalah EIGEN-6C4 yang

merupakan hasil penggabungan data gravitasi satelit GOCE, GRACE, LAGEOS, satelit altimetri, dan pengukuran terestrial. EIGEN-6C4 memiliki derajat dan orde koefisien *spherical harmonic* maksimum 2190. Tabel 1. memperlihatkan ringkasan informasi dari kelima dataset perbandingan. Dalam tulisan ini data gravitasi yang diturunkan dari satelit altimeter (misal Sandwell et al., 2014) tidak disertakan dalam perbandingan. Hal ini karena perhitungan gravitasi dari satelit altimeter didasarkan pada kombinasi GGM derajat tinggi, dengan demikian dataset ini tidak memiliki kontrol independen baru mengenai gravitasi pada frekuensi rendah [15]. Nilai anomali gravitasi dari file raster (grid) kelima dataset perbandingan tersebut dicuplik pada lokasi titik pengukuran GCG16 untuk dibandingkan. Pencuplikan dilakukan dengan menggunakan modul *grdtrack* pada *Generic Mapping Tools* [26], sehingga didapat 53 datum untuk setiap dataset. Perbandingan data gravitasi dilakukan dengan cara menghitung perbedaan antara nilai anomali GCG16 dengan nilai anomali gravitasi dataset perbandingan pada setiap lokasi stasiun pengukuran GCG16 menggunakan persamaan:

$$\Delta g = g_{GCG16} - g_{pub}$$

dengan  $\Delta g$  adalah perbedaan anomali gravitasi,  $g_{GCG16}$  adalah nilai anomali GCG16, dan  $g_{pub}$  adalah nilai anomali data gravitasi terpublikasi. Evaluasi kuantitatif kemudian dilakukan dengan kriteria sebagai berikut. Rata-rata:

$$E(\Delta) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta g_i$$

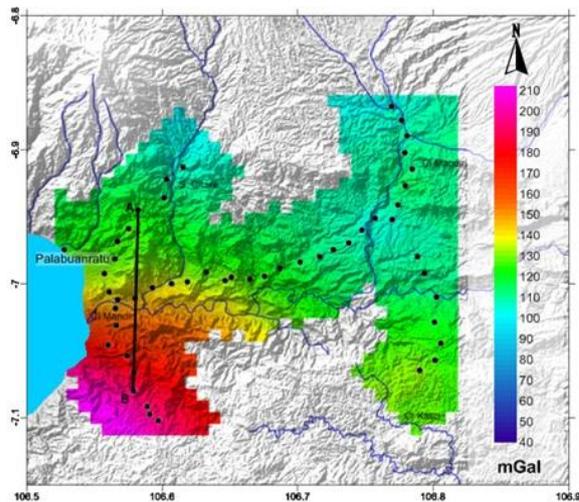
Standard deviasi:

$$D(\Delta) = \left[ \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\Delta g_i - E(\Delta))^2 \right]^{1/2}$$

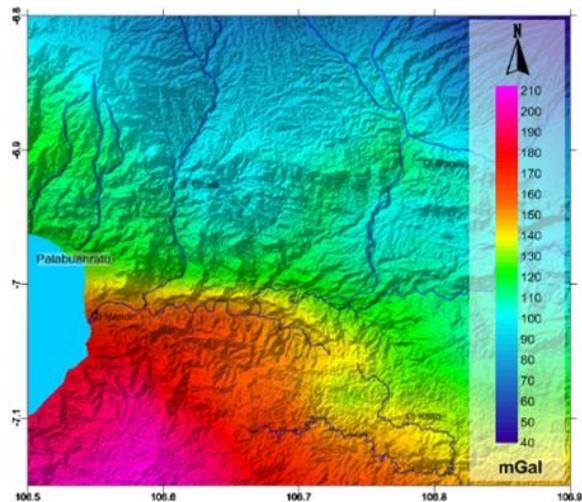
Analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *First Vertical Derivative* (FVD) dilakukan terhadap peta anomali residual dataset GCG16. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan menggunakan metode *trend surface analysis* dengan dekomposisi polinomial orde-1. FHD dan FVD dapat digunakan untuk mendelineasi struktur bawah permukaan. Perbedaan yang sangat mencolok pada struktur bawah permukaan seperti patahan dapat dikenali melalui nilai absolut FHD yang besar dan garis 0 mGal/km pada FVD dari anomali Bouguer [27]. Penulis ini menggambarkan bahwa FHD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$FHD = \sqrt{(\partial g / \partial x)^2 + (\partial g / \partial y)^2}$$

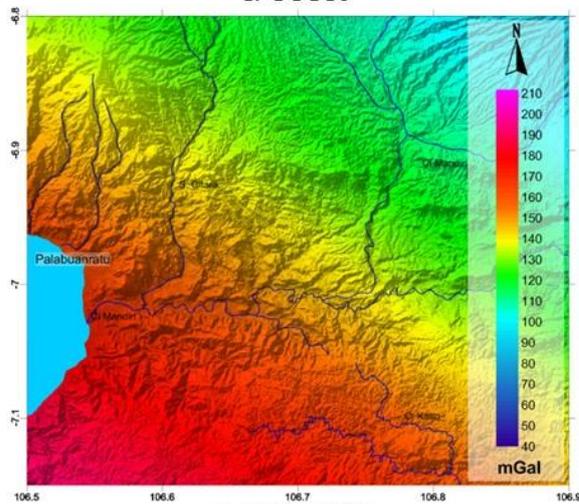
dengan  $g$  adalah anomali Bouguer,  $x$  dan  $y$  sebagai dua arah yang saling tegak lurus. Sementara FVD didapatkan dengan cara mengurangi anomali Bouguer dengan hasil *upward continuation* 1000m.



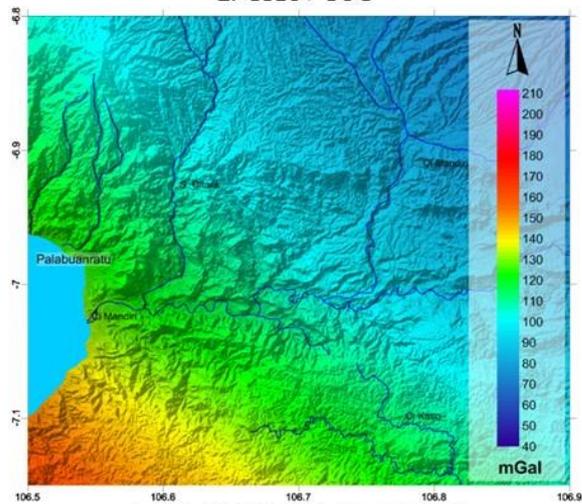
1. GCG16



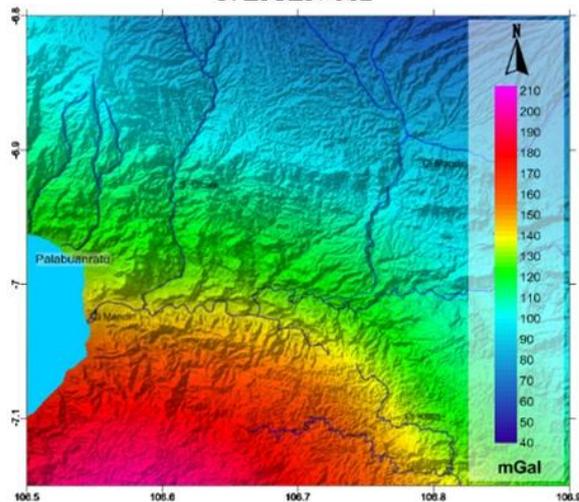
2. GRAV-P3G



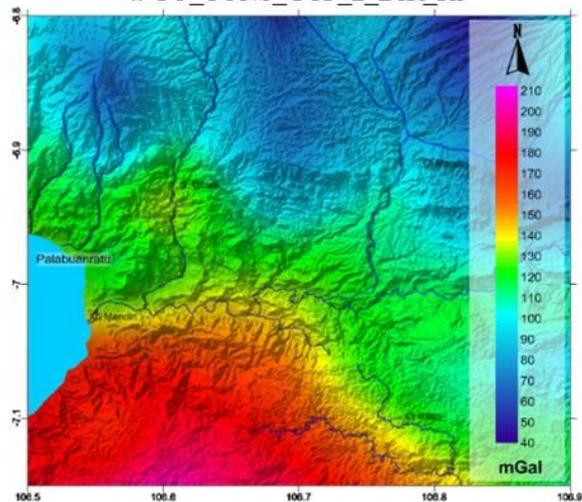
3. EIGEN-6S2



4. GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5



5. EIGEN-6C4



6. EGM2008

Gambar 2. Peta anomali Bouguer GCG16 (kiri atas). Lingkaran berwarna hitam merepresentasikan lokasi stasiun pengukuran, garis hitam adalah posisi penampang AB (akan digunakan dalam Gambar 3). Lima dataset pembandingan (P3G, EIGEN-6S2, GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5, EGM2008 dan EIGEN-6C4) menunjukkan pola anomali utama yang bersesuaian dengan peta GCG16.

**Tabel 1. Ringkasan informasi dataset pembanding**

No.	Dataset	Sumber Data	Derajat Harmonik	Referensi
1.	GRAV-P3G	T	-	[12]
2.	EIGEN-6S2	S(Goce,Grace,Lageos)	260	[20]
3.	GO_CONS_GCF_2_DIR_R5	S(Goce,Grace,Lageos)	300	[21]
4.	EGM2008	S(Grace),T,A	2190	[22]
5.	EIGEN-6C4	S(Goce,Grace,Lageos),T,A	2190	[23]

Keterangan sumber data: S = Satelit, T = Terrestrial, A = Altimetri

### 3. Hasil dan Diskusi

Perambatan galat dalam survei gravitasi dapat dihasilkan dari inkonsistensi datum gravitasi dan medan gravitasi bergantung waktu [13]. Lebih lanjut penulis ini menyatakan bahwa pengukuran gravitasi yang diikatkan terhadap jaringan *International Gravity Standardization Network 1971* (IGSN 71) dapat menghasilkan galat maksimum sebesar 0,2 mGal. Sementara medan gravitasi bergantung waktu yang diakibatkan fenomena geodinamik (misal: pergerakan lempeng, perubahan laju angular bumi, dan naik-turun muka air laut secara global dan regional) dapat menghasilkan galat 0.01 mGal. Tingkat presisi instrumen dalam penelitian ini adalah 0,01 mGal, sehingga dapat menghasilkan galat sebesar setengah dari tingkat presisi alat, atau sebesar 0,005 mGal.

Perambatan galat juga dihasilkan pada saat koreksi data (koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi bouguer, dan koreksi medan). Penentuan posisi menggunakan GPS *handheld* memiliki tingkat presisi diameter maksimum 5 meter ( $3,617E-05^\circ$ ), sehingga menghasilkan galat maksimum sebesar  $1,979E-09$  mGal dari koreksi lintang. Ketidakpastian elevasi menggunakan sistem barometrik sebesar 5 meter menghasilkan galat maksimum sebesar 1,543 mGal dari koreksi udara bebas dan  $1,781E-09$  mGal dari koreksi bouguer. Galat maksimum yang dari koreksi medan diambil sebesar setengah dari nilai koreksi terrain tertinggi, yaitu 0,388 mGal. Nilai perambatan galat total

maksimum diperoleh dengan menjumlahkan seluruh komponen galat, yaitu sebesar 2,146 mGal (0).

Terlihat bahwa komponen galat terbesar dihasilkan dari ketidakpastian elevasi yang berimbas pada koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan. Ketiga koreksi tersebut menghasilkan galat sebesar 1,931 mGal atau sekitar 90% dari galat total. Hal ini disampaikan juga dalam hasil penelitian lain yang menyebutkan bahwa pengukuran elevasi berdasarkan sistem barometrik dapat menghasilkan deviasi elevasi hingga beberapa meter dan mengakibatkan bias anomali gravitasi regional hingga beberapa mGal [13].

Selanjutnya evaluasi GCG16 dilakukan dengan cara membandingkan dengan data gravitasi regional, GGM satelit, dan GGM kombinasi. Kesesuaian pola anomali utama GCG16 dengan peta anomali dari kelima dataset pembanding terlihat pada Gambar 2, dengan penggunaan skala pewarnaan yang sama pada semua dataset. Perbedaan paling mencolok ditunjukkan oleh dataset GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5 dan EIGEN-6S2 yang merupakan produk GGM satelit, pada dua dataset ini variasi anomali gravitasi tidak terlalu signifikan. Anomali gravitasi tinggi pada dua dataset ini hanya teramati di baratdaya area penelitian, mengindikasikan bahwa hal ini merupakan kontribusi dari frekuensi rendah. Fenomena ini dapat diinterpretasikan sebagai akibat dari *mantle upwelling* [28].

**Tabel 2. Perambatan galat total maksimum data GCG16**

Komponen	Keterangan / Nilai kunci	Nilai	Unit	Galat (mGal)
Inkonsistensi datum gravitasi	IGSN71	0,2	mGal	0,200
Gravitasi bergantung waktu	Fenomena geodinamik	0,01	mGal	0,010
Presisi alat pengukuran	Presisi bacaan alat	0,01	mGal	0,005
Koreksi lintang	Ketidakpastian lintang	$3,617E-05$	°	$1,979E-09$
Koreksi udara bebas	Ketidakpastian elevasi	5	m	1,543
Koreksi Bouguer	Ketidakpastian elevasi	5	m	$1,781E-09$
Koreksi medan	Ketidakpastian model elevasi	0,777	m	0,388
<b>Galat total maksimum</b>				<b>2,146</b>

Pada keempat dataset lainnya (GCG16, GRAV-P3G EIGEN-6C4, dan EGM2008) teramati variasi anomali kontras berarah barat-timur. Anomali Bouguer tinggi teramati di bagian selatan area penelitian dan anomali Bouguer rendah berada di bagian utara, dengan Sungai Cimandiri sebagai batas. Variasi anomali ini berkorelasi dengan kondisi geologi di area selatan penelitian [4]–[7] yang didominasi batuan berumur Tersier, sementara area utara didominasi batuan berumur Kuartar. Dapat disimpulkan bahwa variasi anomali tinggi di sekitar Sungai Cimandiri merupakan kontribusi dari frekuensi tinggi yang berkorelasi dengan kondisi bawah permukaan yang relatif lebih dangkal (dekat permukaan).

Perbandingan visual dari nilai anomali antara enam data set ini diperlihatkan pada Gambar 3, yang merupakan profil penampang AB. Penampang berarah utara-selatan ini memotong tegak lurus Sungai Cimandiri yang diperlihatkan sebagai elevasi topografi paling rendah. Rentang anomali paling lebar diperlihatkan oleh data GRAV-P3G, sementara rentang anomali paling sempit diperlihatkan oleh data GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5. Secara visual pada lintasan AB pola anomali gravitasi yang paling mendekati GCG16 adalah data GRAV-P3G dan EIGEN-6C4, sementara yang paling tidak sesuai adalah GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5. Berdasarkan analisis kuantitatif statistik (Tabel 1) terlihat bahwa nilai rata-rata perbedaan anomali yang paling kecil adalah data GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5 dan yang paling besar adalah EIGEN-6C4. Sementara berdasarkan nilai standar deviasinya, data yang paling mendekati GCG16 secara berurutan adalah data GRAV-P3G, EIGEN-6C4, EGM2008, EIGEN-6S2, dan terakhir GO\_CONS\_GCF\_2\_DIR\_R5.

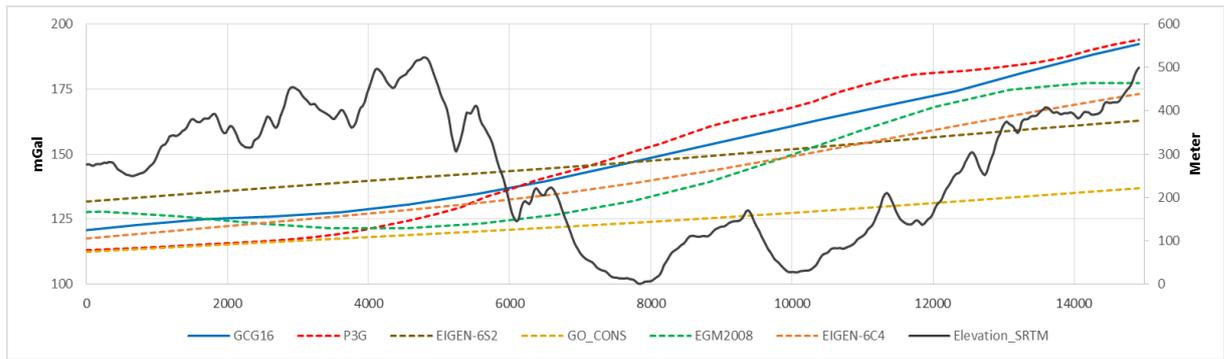
Hasil ini menunjukkan bahwa GRAV-P3G memperlihatkan tingkat kesesuaian yang paling tinggi dengan GCG16. Hal ini dapat dimengerti karena keduanya merupakan hasil pengukuran terestrial, sementara empat dataset pembanding lainnya merupakan data dengan domain yang berbeda. Selain itu terlihat bahwa secara statistik, dataset GGM kombinasi (EIGEN-6C4 dan EGM2008) menunjukkan tingkat kesesuaian yang lebih baik jika dibandingkan dengan GGM satelit (EIGEN-6S2 dan GO\_CONS). Tersirat bahwa kesesuaian data terestrial dengan GGM akan berbanding lurus dengan peningkatan derajat dan orde koefisien *spherical harmonic* maksimum pada GGM. Namun patut diingat bahwa GGM kombinasi menyertakan data gravitasi terestrial sebagai salah satu sumber datanya. Dengan demikian sangat memungkinkan bahwa dataset GGM kombinasi juga membawa serta sebagian galat yang melekat dalam data gravitasi terestrial

pada saat penggabungan data [29], sementara data GGM satelit menawarkan gambaran medan gravitasi pada frekuensi rendah yang tidak dipengaruhi *systematic error*.

Hasil perbandingan statistik (0) juga memperlihatkan bahwa tingkat kesesuaian data EIGEN-6C4 lebih baik dari EGM2008. Hal ini diduga berkaitan dengan perbedaan pada sumber data dari dua model tersebut, yaitu sumber data EIGEN-6C4 telah dilengkapi oleh data *Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer* (GOCE) dan *LaSer GEodynamics Satellite* (LAGEOS). Hasil serupa juga disimpulkan dalam penelitian lain yang melaporkan peningkatan kualitas EIGEN-6C4 dibandingkan dengan EGM2008 [30]. Data gravitasi terestrial yang dibandingkan dengan GGM disarankan untuk melalui proses *smoothing* terlebih dahulu. Hal ini bertujuan agar resolusi spasial dan responsnya berkorespondensi dengan GGM, yaitu pada frekuensi rendah atau resolusi spasial sekitar 80 kilometer [29]. Mengingat luas cakupan spasial GCG16 yang terbatas, proses filterisasi tidak dilakukan dalam penelitian ini. Hal ini menyebabkan data yang dibandingkan (GCG16) masih dipengaruhi respons frekuensi tinggi, terlihat dengan tingginya nilai hasil perbandingan kuantitatif dengan data GGM satelit.

Perbandingan secara kualitatif menunjukkan bahwa pola anomali utama GCG16 berkorelasi baik dengan lima dataset pembanding, hal ini menunjukkan bahwa kualitas data GCG16 cukup baik. Namun untuk pertimbangan tingkat keyakinan data, disarankan penggunaan sistem GPS geodetik dalam penentuan ketinggian stasiun pengukuran dan peta ketinggian resolusi tinggi untuk koreksi medan. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan perambatan galat yang dihasilkan pada data gravitasi terestrial.

Untuk mempelajari CFZ, kontribusi frekuensi rendah pada GCG16 dihilangkan dengan cara mengurangkan Anomali Regional dari Anomali Bouguer sehingga didapatkan Anomali Residual. Selanjutnya analisis FHD dan FVD dilakukan terhadap Anomali Residual. Hasil analisis FHD (Gambar 4 kiri) menunjukkan bahwa Anomali FHD tinggi teramati pada bagian baratdaya dan timurlaut area penelitian. Pada bagian baratdaya (penampang AB) anomali FHD tinggi tampak semakin besar ke arah selatan-baratdaya sementara pada bagian timurlaut (penampang CD) anomali FHD tinggi terlihat memanjang dengan arah timurlaut-tenggara. Pada peta Anomali FVD (Gambar 4 kanan), *kontur* 0 mGal/km terlihat memanjang dengan arah barat-timur pada segmen barat area penelitian, dan memanjang dengan arah timurlaut-tenggara pada segmen timur.



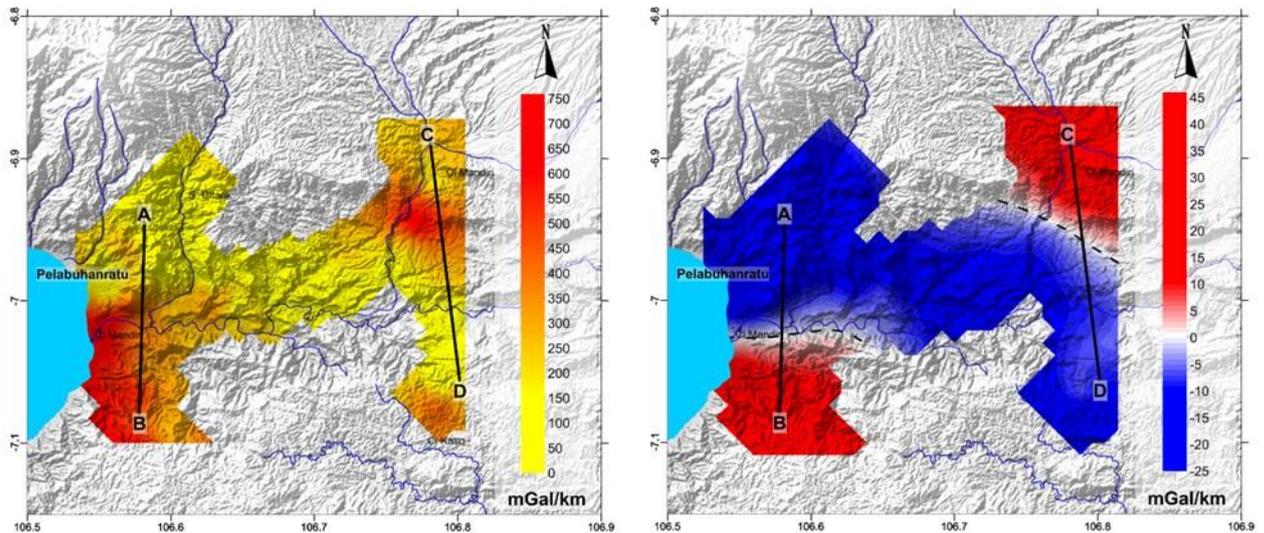
Gambar 3. Perbandingan visual nilai anomali gravitasi antara GCG16, dengan lima dataset pembandingan (P3G, EIGEN-6S2, GO\_CONS, EGM2008 dan EIGEN-6C4) pada lintasan AB,

Tabel 3. Informasi statistik nilai perbandingan anomali gravitasi (dalam mGal)

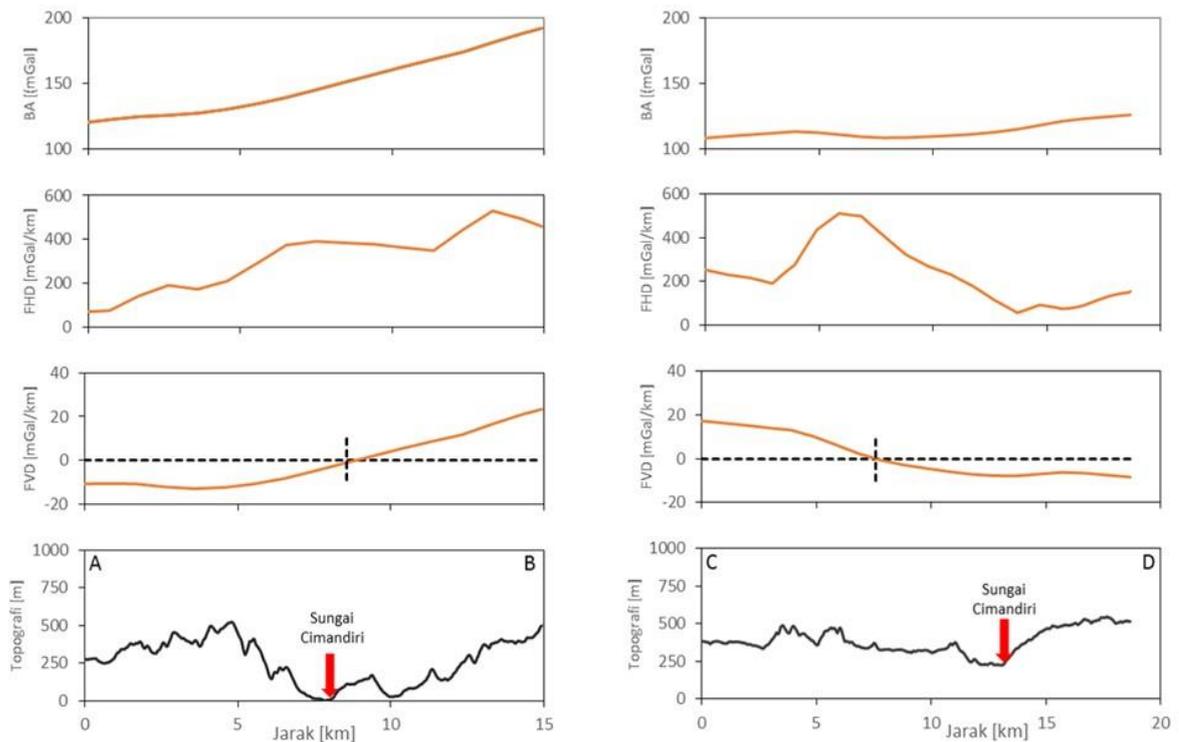
	GRAV-P3G	EIGEN-6S2	GO_CONS	EIGEN-6C4	EGM2008
<b>min</b>	-8,028	-31,030	-57,372	-4,072	-16,848
<b>max</b>	10,701	21,608	1,467	23,322	22,730
<b>average</b>	1,634	-0,924	-21,828	6,103	4,730
<b>stdev</b>	4,227	12,476	13,298	7,809	10,101

Pada Gambar 5 terlihat bahwa lokasi kontur 0 mGal/km pada segmen barat (Penampang AB) berjarak sekitar 900 m di sebelah selatan Sungai Cimandiri, sementara pada segmen timur (Penampang CD) berjarak lebih dari 6 km di utara Sungai Cimandiri. Diinterpretasikan bahwa kontur 0 mGal/km pada Penampang AB sebagai manifestasi dari CFZ sementara pada Penampang CD tidak berkorelasi dengan CFZ. Kami berspekulasi bahwa kontur pada Penampang CD ini

mungkin berhubungan dengan sistem sinklin-antiklin di sekitar Pasir Peundeuy dan Gunung Walat yang juga disertai dengan sesar naik [4], [31]. Berdasarkan hasil analisis FHD dan FVD pada dataset GCG16, dapat disimpulkan bahwa CFZ tidak teramati pada Penampang CD. Hal ini mengindikasikan bahwa CFZ merupakan sistem sesar yang tersegmentasi, mendukung hasil penelitian sebelumnya yang membagi CFZ menjadi 6 (enam) segmen [2].



Gambar 4. Peta Anomali FHD (kiri) dan Anomali FVD (kanan). Garis penuh warna hitam menunjukkan lokasi Penampang AB pada segmen barat dan Penampang CD pada segmen timur. Garis putus-putus warna hitam merupakan kontur FVD 0 mGal/km.



**Gambar 5.** Dari atas ke bawah: penampang Anomali Bouguer, Anomali FHD, Anomali FVD, dan Topografi pada Lintasan AB (kiri) dan Lintasan CD (kanan). Garis putus-putus hitam: lokasi anomali FVD tepat pada kontur 0 mGal/km, tanda panah merah: posisi Sungai Cimandiri di permukaan

#### 4. Kesimpulan

Pola umum anomali gravitasi GCG16 bersesuaian dengan lima data gravitasi terpublikasi perbandingan. Disimpulkan bahwa kualitas data GCG16 cukup baik, dengan catatan perambatan galat harus dijadikan acuan dalam menentukan tingkat keyakinan data. Keunggulan GCG16 dibandingkan lima dataset perbandingan adalah pada resolusi spasialnya, dengan jarak antar stasiun pengamatan berkisar antara 750-1500 meter. Data dengan tingkat kesesuaian tertinggi dengan GCG16 adalah dataset GRAV-P3G, dengan standar deviasi 4,227 mGal dan rata-rata perbedaan 1,634 mGal. Hasil perbandingan GCG16 dengan data GGM kombinasi menunjukkan tingkat kesesuaian lebih baik jika dibandingkan dengan data GGM satelit. Patut diingat bahwa GGM kombinasi mungkin membawa sebagian ketidakpastian dari data gravitasi terestrial pada saat penggabungan data. Hasil analisis FHD dan FVD pada peta Anomali Residual GCG16 menunjukkan bahwa CFZ merupakan sistem sesar yang tersegmentasi.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada reviewer atas masukannya untuk perbaikan naskah ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada anggota Lab. Geofisika P2G-LIPI, terutama Nyanjang, Dede Rusmana dan Sutarman atas bantuannya

dalam pemerolehan data lapangan. Naskah ini merupakan bagian dari penelitian berjudul “Kajian Tektonik Aktif Berdasarkan Metoda Geologi dan Geofisika Daerah Jawa Bagian Barat, Selat Sunda dan Sumatera Bagian Selatan” dengan sumber pendanaan DIPA Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI, tahun anggaran 2016.

#### Daftar Pustaka

- [1] H. Z. Abidin, T. Andreas, T. Kato, T. Ito, I. Meilano, F. Kimata, D. H. Natawidjaya, dan H. Harjono, “Crustal Deformation Studies in Java (Indonesia) Using Gps,” *J. Earthq. Tsunami*, vol. 03, no. 02, pp. 77–88, 2009.
- [2] G. I. Marliyani, J. R. Arrowsmith, dan K. X. Whipple, “Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri Fault zone, Indonesia,” *J. Geophys. Res.*, vol. 121, no. 12, 2016.
- [3] R. W. van Bemmelen, *The geology of Indonesia*. The Hague: Govt. Printing Office, 1949.
- [4] A. C. Effendi, Kusnama, dan B. Hermanto, “Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa, Skala 1:100.000,” Bandung, 1998.
- [5] M. Koesmono, Kusnama, dan N. Suwarna, “Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru, Jawa edisi-2, Skala 1:100.000,” Bandung, 1996.

- [6] Sudjatmiko, "Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa, Skala 1:100.000," Bandung, 1972.
- [7] R. A. B. Sukamto, "Peta Geologi Lembar Jampang-Balekambang, Jawa, Skala 1:100.000," Bandung, Indonesia, 1975.
- [8] S. Martodjojo, "Evolusi Cekungan Bogor," Institut Teknologi Bandung, 1984.
- [9] M. Makino, A. A. Mandanas, dan S. G. Catane, "Gravity basement of the Guinsaugon landslide along the Philippine Fault Zone," *Earth Planets Sp.*, vol. 59, pp. 1067–1071, 2007.
- [10] R. Efendi, "Identifikasi zona rekahan menggunakan gradien dan residual anomali gayaberat mikro: studi kasus sesar Palu Koro," Institut Teknologi Bandung, 2011.
- [11] Setianingsih, R. Efendi, W. G. A. Kadir, D. Santoso, C. I. Abdullah, dan S. Alawiyah, "Gravity Gradient Technique to Identify Fracture Zones in Palu Koro Strike-slip Fault," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 248–255, 2013.
- [12] M. Untung dan Y. Sato, *Gravity and geological studies in Java, Indonesia*, vol. 6. Geological Survey of Indonesia and Geological Survey of Japan, 1978.
- [13] B. Heck, "An evaluation of some systematic error sources affecting terrestrial gravity anomalies," *Bull. Geod.*, vol. 64, no. 1, pp. 88–108, 1990.
- [14] A. P. Karpik, V. F. Kanushin, I. G. Ganagina, D. N. Goldobin, N. S. Kosarev, dan A. M. Kosareva, "Evaluation of recent Earth's global gravity field models with terrestrial gravity data," *Contrib. to Geophys. Geod.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–11, 2016.
- [15] M. J. Amos dan W. E. Featherstone, "Comparisons of recent global geopotential models with terrestrial gravity field observations over New Zealand and Australia," *Geomatics Res. Australas.*, pp. 1–20, 2003.
- [16] B. Gunter, J. Ries, S. Bettadpur, dan B. Tapley, "A simulation study of the errors of omission and commission for GRACE RL01 gravity fields," *J. Geod.*, vol. 80, no. 7, pp. 341–351, 2006.
- [17] Lacoste&Romberg, "Instruction manual model G&D gravity meters," Austin, Texas, 2004.
- [18] S. Hammer, "Terrain corrections for gravimeter stations," *Geophysics*, vol. 4, no. 3, 1939.
- [19] J. Huang, M. Véronneau, dan A. Mainville, "Assessment of systematic errors in the surface gravity anomalies over North America using the GRACE gravity model," *Geophys. J. Int.*, vol. 175, no. 1, pp. 46–54, 2008.
- [20] S. Rudenko, D. Dettmering, S. Esselborn, T. Schöne, C. Förste, J. M. Lemoine, M. Ablain, D. Alexandre, dan K. H. Neumayer, "Influence of time variable geopotential models on precise orbits of altimetry satellites, global and regional mean sea level trends," *Adv. Sp. Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 92–118, 2014.
- [21] S. L. Bruinsma, C. Förste, O. Abrikosov, J.-C. Marty, M.-H. Rio, S. Mulet, dan S. Bonvalot, "The new ESA satellite-only gravity field model via the direct approach," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, no. July, pp. 3607–3612, 2013.
- [22] N. K. Pavlis, S. A. Holmes, S. C. Kenyon, dan J. K. Factor, "The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)," *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 117, no. B4, 2012.
- [23] C. Förste, S. Bruinsma, O. Abrikosov, F. Flechtner, J.-C. Marty, J.-M. Lemoine, C. Dahle, H. Neumayer, F. Barthelmes, R. König, R. Biancale, C. Förste, S. Bruinsma, O. Abrikosov, F. Flechtner, dan J. Marty, "EIGEN-6C4 - The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 1949 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse," *EGU Gen. Assem.*, vol. 16, p. 3707, 2014.
- [24] F. Barthelmes dan W. Köhler, "International Centre for Global Earth Models (ICGEM)," in *The Geodesists Handbook 2016*, S. R. Hermann Drewes, Franz Kuglitsch, József Ádám, Ed. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [25] D. T. Sandwell, R. D. Müller, W. H. F. Smith, E. Garcia, dan R. Francis, "New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure.," *Science*, vol. 346, no. 6205, pp. 65–7, 2014.
- [26] P. Wessel dan W. H. F. Smith, "New, improved version of generic mapping tools released," *Eos, Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 79, no. 47, 1998.
- [27] S. Wada, A. Sawada, Y. Hiramatsu, N. Matsumoto, dan S. Okada, "Continuity of subsurface fault structure revealed by gravity anomaly: the eastern boundary fault zone of the Niigata plain, central Japan," pp. 1–12, 2017.
- [28] Subagio, "Anomali gayaberat dan potensi bencana geologi di kawasan Jawa Barat bagian tengah," *J. Sumber Daya Geol.*, vol. 23, no. 2, 2013.
- [29] E. P. Bomfim, C. Braitenberg, dan E. C. Molina, "Mutual evaluation of global gravity models (EGM2008 and GOCE) and terrestrial data in Amazon Basin, Brazil," *Geophys. J. Int.*, vol. 195, no. 2, pp. 870–882, 2013.

- [30] J. Kostecký, J. Klokočník, B. Bucha, A. Bezděk, C. Förste, dan C. Kostecky, J., Klokocnik, J., Bucha, B., Bezdek, A., Förste, "Evaluation of the gravity field model EIGEN-6C4 in comparison with EGM2008 by means of various functions of the gravity potential and by GNSS / levelling," *Geoinformatics FCE CTU*, vol. 14, no. 1, 2015.
- [31] I. Haryanto, E. Sunardi, A. Sudradjat, dan Suparka, "Struktur Lipatan Anjakan Daerah Walat, Jawa Barat," *Bull. Sci. Cont.*, vol. 9, 2011.