
Indonesian Physical Review

Volume 2 Issue 1, January 2019

P-ISSN: 2615-1278, e-ISSN: 2614-7904

Analisis dan Pemodelan Inversi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Anomali Gravitasi Pulau Lombok

Hidden Hidden¹, Kirbani, SB², Wiwit, S³, and Danang, SH⁴

¹Faculty of Science, Mataram University, Indonesia. E-mail: hidempamula@gmail.com, hidden@unram.ac.id

² Faculty of Science, Gadjah Mada University, Indonesia. E-mail: kirbani@ugm.ac.id

³Faculty of Science, Gadjah Mada University, Indonesia. E-mail: wiwit@gadjahmada.edu

⁴ Faculty of Geography, Gadjah Mada University, Indonesia. E-mail: hadmoko@ugm.ac.id

Info Artikel

Kata Kunci :

Patahan, uplift, Lombok, Pemodelan inversi.

Cara Sitasi :

Hidden., Kirbani., Wiwit., Danang (2019). Analisis dan Pemodelan Inversi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Anomali Gravitasi Pulau Lombok. *Indonesian Physical Review*, 2(1),

DOI :

<https://doi.org/10.29303/ipt.v2i1.18>

Abstrak

Sistem patahan, intrusi, dan daerah pengangkatan banyak terdapat di Pulau Lombok, tetapi secara visual tidak tampak di permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis anomali gravitasi dan memodelkan struktur geologi bawah permukaan berdasarkan anomali gravitasi. Hasil penelitian menunjukkan korelasi yang baik antara karakteristik anomali Bouguer maupun anomali residual terhadap struktur yang telah diketahui di Pulau Lombok. Umumnya, anomali tinggi baik anomali Bouguer maupun anomali residu tinggi berkorelasi baik dengan sinkapan zona Solo di sebelah barat, kerak magmatik tebal di sebelah timur dan area pengangkatan di selatan Lombok. Berdasarkan anomali residu tinggi, terdapat beberapa sesar lokal teridentifikasi dengan sangat jelas. Sementara anomali residu rendah tampak pada wilayah Kompleks Gunung Rinjani. Perkiraan sesar yang membelah dua Pulau Lombok (sesar Lombok: FL) tidak terbukti keberadaannya baik dengan anomali Bouguer, anomali residu maupun dengan pemodelan inversi 2D. Interpretasi hasil pemodelan inversi 2D menunjukkan variasi batuan dengan densitas (2,625 - 2,858) kg/m³ yang terdistribusi secara spasial (ruang) pada kedalaman (1,31 - 4,66) km.

Copyright © 2019IPR. All rights reserved..

Pendahuluan

Sistem patahan, intrusi dan daerah terangkat banyak ditemui di Pulau Lombok, seperti yang ditunjukkan dalam peta geologi Lombok [1, 2]. Umumnya, sistem sesar ini berarah NE - SW dan NW - SE [3]. Sesar perkiraan Lombok (disebut Sesar Lombok: FL) adalah patahan terpanjang, membagi pulau Lombok menjadi dua bagian, utara dan selatan (Gambar 1). Patahan ini memanjang dari Timur ke Barat. Struktur paling kompleks terdiri dari: patahan, lipatan, intrusi dan daerah terangkat ditemukan di Lombok Selatan. Sistem sesar menjari dan terkait dengan berbagai aktivitas magmatik.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan patahan di pulau Lombok dan sekitarnya dengan menggunakan berbagai metode geofisika. Pemetaan stratigrafi di Laut

Jawa (Utara Lombok) menggunakan metode seismik refleksi [4], pemetaan potensi panas bumi Sembalun dengan metode gravitasi, geomagnetik dan geolistrik [5].

Metode gravitasi dapat digunakan untuk mendeteksi patahan, intrusi dan daerah terangkat di Lombok, sebagaimana yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti berikut. Metode gravitasi ini telah berhasil digunakan untuk: i) analisis dan interpretasi struktur bawah permukaan [6]. ii) Mempelajari korelasi antara anomali Bouguer dan geologi regional [7]. iii) Inversi anomali gravitasi dalam interpretasi 2D dan 3D dari struktur bawah permukaan [8, 9].

Penelitian ini sangat penting, untuk menganalisis dan pemodelan inversi struktur bawah permukaan menggunakan data gravitasi. Melakukan interpretasi kualitatif dan kuantitatif dari model inversi 2D struktur geologi lokal bawah permukaan.

Keadaan geologi

Gunung berapi yang terletak di antara 165 dan 190 km di atas zona Benioff, diantaranya Gunung Rinjani, Tambora dan Sangeang semua masih aktif [10]. Struktur bagian utara pulau Lombok merupakan kelanjutan dari Zona Solo Jawa, membentuk jalur *geanticline* [11]. Hilangnya aktivitas gempa dangkal dan menengah di selatan Lombok dan Sumbawa yang merupakan zona sesar di busur Sunda menyimpan potensi gempa yang berbahaya. Patahan dan lipatan yang terdapat di daerah tersebut dapat menyebabkan deformasi. Deformasi yang kuat di cekungan bagian timur Lombok ditandai oleh adanya blok patahan, *shale* diapir dan *mud volcano* [12]. Patahan ditemukan di Pemenang sebelah barat Gunung Rinjani, dan di Sembelia dan Pringgabaya Lombok Timur, serta di Sekotong Lombok Selatan sebagaimana yang diindikasikan pada Gambar 1.

Selama Miosen Tengah, aktivitas magma ditandai dengan munculnya sejumlah intrusi dasit dan basal, yang memotong Formasi Pengulung dan Formasi Kawangan. Terobosan ini menyebabkan sulfida terubahkan dan biji-bijian serta adanya mineralisasi urat kuarsa pada bebatuan di Lombok Selatan (Gambar 1). Jenis batuan dan mineral ini memiliki nilai densitas tinggi.

Konsep dasar kepadatan di bawah permukaan bervariasi baik ke arah lateral maupun vertikal, menyebabkan perubahan medan gravitasi di permukaan. Intensitas medan gravitasi akibat perbedaan massa terkubur (konsentrasi atau void) ditumpangkan pada medan gravitasi akibat total massa Bumi. Dua komponen utama dari medan gravitasi yang terukur di permukaan bumi pertama, komponen umum dan relatif seragam karena total massa Bumi. Kedua, anomali gayaberat yang merupakan komponen ukuran jauh lebih kecil dari komponen pertama dan bervariasi karena perubahan kerapatan baik lateral maupun vertikal. Estimasi anomali gravitasi dapat dilakukan dengan berbagai teknik seperti kontinuitas ke atas (*upward continue*).

Kontinuitas ke atas (*Upward Continuation*) adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan anomali lokal atau dangkal sehingga diperoleh anomali regional. Pengurangan hasil anomali regional terhadap anomali total menghasilkan anomali lokal. Dalam rangka untuk mendapatkan gelombang bidang medan gravitasi dengan panjang gelombang panjang dalam hal ini anomali regional, maka dapat dilakukan pengamatan di permukaan lain di atas permukaan pengamatan awal [13]. Hal ini cukup dilakukan inversi transformasi Fourier. Prinsip dasar dari metode kontinuitas ke atas adalah jika titik

pengamatan diangkat jauh ke atas, maka sinyal dari sumber permukaan yang lemah hilang. Sehingga apa yang kita dapat adalah medan yang dihasilkan oleh sumber utama, yaitu anomali regional. Syarat batas dari bidang datar, dimana sumber yang setara dengan massa titik adalah: $2.5\Delta x < (h - z_i) < 6\Delta x$ [14]. h adalah kedalaman titik massa dan z_i adalah tinggi rata-rata dari topografi, Δx adalah jarak rata-rata antar stasiun pengamatan.

Metode maju (Forward modeling). Masalah langsung (disebut juga pemodelan langsung) gravitasi data adalah masalah linear dan itu dilakukan dengan integrasi. Dalam model 2D, densitas dianggap bervariasi baik lateral maupun vertikal. Medan gravitasi, d_i lokasi ke- i dapat ditulis sebagai [15],

$$d_i = \sum_{j=1}^M \rho_j G_{ij} \approx \mathbf{G}\vec{\rho} = \vec{d} \quad (1)$$

dimana ρ_j adalah densitas prisma ke- j , dan $G = G_{ij}$ elemen matriks terkuantifikasi kontribusi j untuk nilai gravitasi prisma ke- i (disebut data gravitasi yang diamati). $\vec{d} = (d_1, \dots, d_N)^T$ adalah vektor data dan $\vec{\rho} = (\rho_1, \dots, \rho_M)^T$ adalah vektor yang mengandung nilai-nilai densitas prisma M .

Metode Inversi (Inverse Modeling). Inversi digunakan untuk menentukan parameter dari model yang responnya mirip dengan data yang diamati [11]. Persoalan inversi dirumuskan sebagai masalah optimasi dimana fungsi objek dari densitas model diminimalkan, sesuai dengan syarat batas dalam suatu toleransi kesalahan (*error*). Fungsi objek adalah persoalan-bergantung densitas dan dapat bervariasi sesuai dengan informasi (data) yang tersedia sebelumnya, tetapi harus memiliki fleksibilitas dalam membangun model yang mendekati model referensi (misalnya $\rho=0$) dan menghasilkan model yang halus, $\emptyset(\rho)$ [9] adalah,

$$\emptyset(\rho) = \emptyset_d + \mu\emptyset_m \quad (2)$$

$\mu \in [0, \infty]$ adalah parameter regular (Tikhonov) yang mengontrol kesetimbangan data terukur, \emptyset_d dan fungsi objek model \emptyset_m . Nilai μ ditentukan menggunakan prinsip ketidaksesuaian sehingga data cocok (fit) dengan tingkat nois yang telah ditetapkan. Umumnya, digunakan model awal dari data penyelidikan sebelumnya atau bisa jadi model nol ($\rho=0$) sebagai model referensi.

Solusi dari permasalahan inversi adalah meminimalkan persamaan (2) dalam batas $\vec{\rho}_{min} \leq \vec{\rho} \leq \vec{\rho}_{max}$, di mana $\vec{\rho}_{min}$ dan $\vec{\rho}_{max}$ adalah vektor yang berisi nilai batas bawah dan batas atas model.

Dengan asumsi bahwa standar deviasi dari masing-masing datum, ke- i adalah σ_i , kita dapat mendefinisikan fungsi data ketidakcocokan, menggunakan ukuran 2-norma sebagai,

$$\emptyset_d = \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i^{obs} - d_i^{pre}}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3)$$

Dengan d_i^{obs} and d_i^{pre} masing-masing data yang diamati dan diprediksi. N : derajat kebebasan.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian. Pulau Lombok terletak pada koordinat geografis (115.50 ° - 117.00 °) E dan (8.00° - 9.45°) S (Gambar 1).

Pengolahan data. Dalam penelitian ini, data gravitasi diproses melalui tiga tahap. Data yang digunakan berupa anomali Bouguer dan data topografi yang didownload dari *Internasional Center Global Earth Model (ICGEM)* [16]. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan teknik kontinuasi ke atas dan ketiga, melakukan pemodelan inversi 2D model struktur bawah permukaan berdasarkan anomali residual (Gambar 2b). Dalam riset ini, akan di buat dua profil anomali residual AB dan CD seperti pada Gambar 2b dan hasilnya seperti pada Gambar 3 bagian atas. Selanjutnya, dilakukan inversi model 2D dengan input medan gravitasi, geometri, dan densitas referensi. Densitas referensi dari berbagai jenis batuan yang telah diperoleh sebelumnya. Kemudian, diinterpretasi sesuai dengan nilai-nilai densitas batuan dari literatur.

Hasil dan Pembahasan

Analisis peta Bouguer anomali

Untuk analisis peta anomali Bouguer (Gambar 2a), peta anomali tersebut dibagi ke dalam tiga satuan yakni anomali: tinggi, sedang, dan rendah. Anomali tinggi bervariasi (300 – 370) mgal ditemukan di sekitar Kompleks Gunung Rinjani, Gunung Pusuk (timur dan barat) dan di Wilayah Gerung. Satuan anomali Bouguer tinggi ini diduga berhubungan dengan batuan lava, breksi, magnetit-pasir dan intrusi sulfida yang memiliki kepadatan atau densitas tinggi.

Anomali Bouguer menengah dengan variasi nilai antara (250 – 300) mgal dicirikan dengan pola kontur anomali linear. Anomali menengah tersebut menempati Daerah Bayan dan Sembalun, sementara anomali menengah dengan fitur melingkar tampak di sebelah timur Jerowaru. Terakhir, anomali Bouguer dengan nilai rendah dari (140 – 250) mgal, ditemukan di sebelah Utara Lombok mulai dari Bayan ke timurlaut sampai Sembelia.

Berdasarkan anomali Bouguer (Gambar 2a) di atas yang dikaitkan dengan struktur di Pulau Lombok (Gambar 1), maka kontur anomali Bouguer tersebut dibagi tiga kelompok yakni anomali tinggi yang menempati bagian utara dan selatan pulau Lombok. Anomali tinggi di bagian utara Pulau Lombok berasosiasi dengan Gunung Purba Pusuk di sebelah barat, Kompleks Gunung Rinjani dan Gunung Rinjani tua di sebelah timur. Sementara, anomali tinggi di sebelah selatan berkaitan dengan Gunung Purba Mareje dan daerah Pengangkatan di Sekotong (SU: Sekotong *Up-lift*). Anomali menengah tampak pada wilayah tengah Pulau Lombok, dimana wilayah tengah ini merupakan daerah pengendapan laut dan ditambah dengan endapan vulkanik, sehingga diduga kuat anomali sedang ini berkaitan dengan sedimentasi tersebut. Sementara anomali rendah terlihat di laut sebelah Barat, utara dan timur Pulau Lombok.

Analisis peta anomali sisa. Anomali lokal (sisa) dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari panjang gelombang anomali regional. Anomali residu ini memiliki amplitudo bervariasi dari -100 sampai 35 mgal (Gambar 2b). Untuk detailnya, anomali residu dibagi ke dalam tiga unit anomali gravitasi dengan menghadirkan karakteristik yang berbeda.

Unit I ditandai terutama oleh rentang anomali tinggi dari -15 ke +35 mgal. Anomali tinggi dibaratlaut meliputi Lokopiko dan Bayan. Unit ini merupakan adalah batas antara zona Solo ke timur [10, 1, 2]. Kedua, di Lombok Selatan bagian tengah menunjukkan daerah pengangkatan, dan di tepi timur Lombok sebagai batas antara cekungan busur ke arah timur seperti yang telah dinyatakan oleh para peneliti sebelumnya [1, 2].

Unit II menunjukkan respon negatif terhadap anomali gravitasi dengan amplitudo bervariasi dari -45 ke -15 mgal. Unit ini mendominasi zona studi, yang melingkupi anomali tinggi dan anomali rendah terutama bagian tengah Pulau Lombok dari barat ke timur.

Unit III adalah anomali negatif tinggi dengan amplitudo berkisar antara -100 dan -45 mgal. Anomali ini terletak diantara anomali menengah membentuk lingkaran tertutup terutama di Wilayah Kompleks Gunung Rinjani. Unit III ini mencakup area sedimentasi, lapangan panas bumi, Gunung Purba Mareje, dan Kompleks Gunung Rinjani dan berkaitan dengan batuan yang memiliki kepadatan rendah.

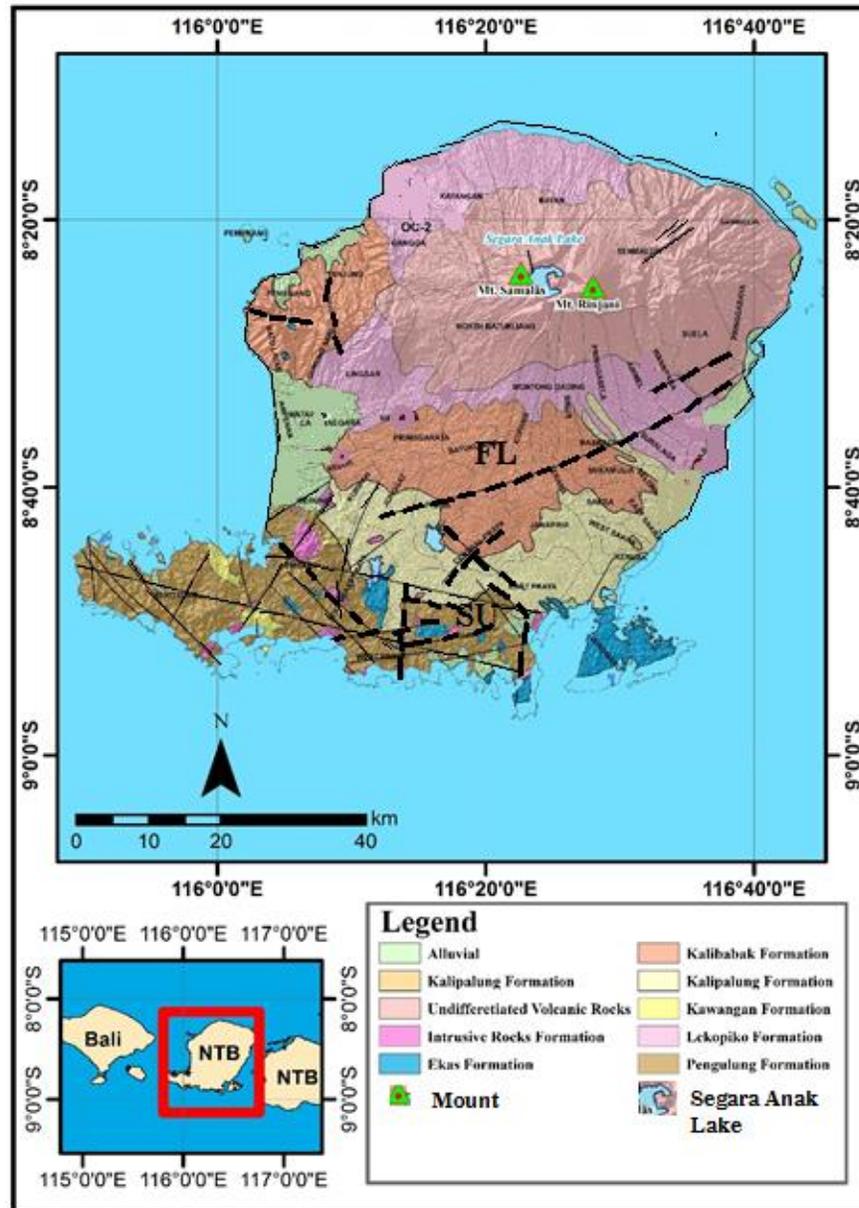
Berdasarkan analisis kedua anomali Bouguer dan residu di atas, maka sistem sesar, intrusi dan area terangkat dapat dideteksi dengan baik dan sesuai dengan pernyataan para peneliti terdahulu [10,1,2]. Kelanjutan zona Solo yang tersingkap di sebelah barat Pulau Lombok, kerak magmatik tebal di pinggiran timur Lombok dan area pengangkatan (SU) di selatan Lombok semua tampak jelas. Sistem sesar pada Gambar 1 sebagian dapat terdeteksi dengan jelas, sementara perkiraan sesar Lombok (FL) yang memanjang dari barat ke timur membelah dua Pulau Lombok tidak teridentifikasi sama sekali pada kedua anomali Bouguer maupun anomali residu (Gambar 2). Oleh karena itu, Kami melakukan pemodelan inversi 2D pada anomali residu.

Pemodelan Inversi 2D. Pemodelan inversi 2D pada riset ini bertujuan untuk analisa keberadaan struktur bawah permukaan khususnya sesar perkiraan Lombok. Kami membuat dua penampang (profil AB dan CD pada Gambar 2b) dalam pemodelan inversi ini dan hasilnya adalah sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Densitas rata-rata benda penyebab anomali sisapada profil AB adalah (2,858 - 2,969) g/cm³ dengan kedalaman rata-rata (2,485 - 4,657) km, Kami menafsirkan sebagai lava basalt dan amphibolite-diabas. Densitas batuan pada profil CD adalah (2,625 - 2,739) g/cm³ dan kedalaman rata-rata (1,306 - 3,36) km, yang kita artikan sebagai graywacke, porfiria-metamorf, dan andecite. Pada penampang AB, tampak bahwa pada kedua ujung penampang, mengindikasikan patahan turun masing-masing di sebelah baratdaya dan di Lombok Utara hingga Lombok Timur. Demikian pula, dalam penampang CD, terindikasi patahan turun di tenggara Lombok sedangkan sesar naik terindikasi di barat laut. Patahan yang terjadi di barat laut Lombok dan timurlaut Lombok mendukung pernyataan sebelumnya bahwa zona Solo berakhir dan tersingkap di barat dari pulau Lombok, dan adanya kerak magmatik tebal yang menjadi batas antara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa [1,2].

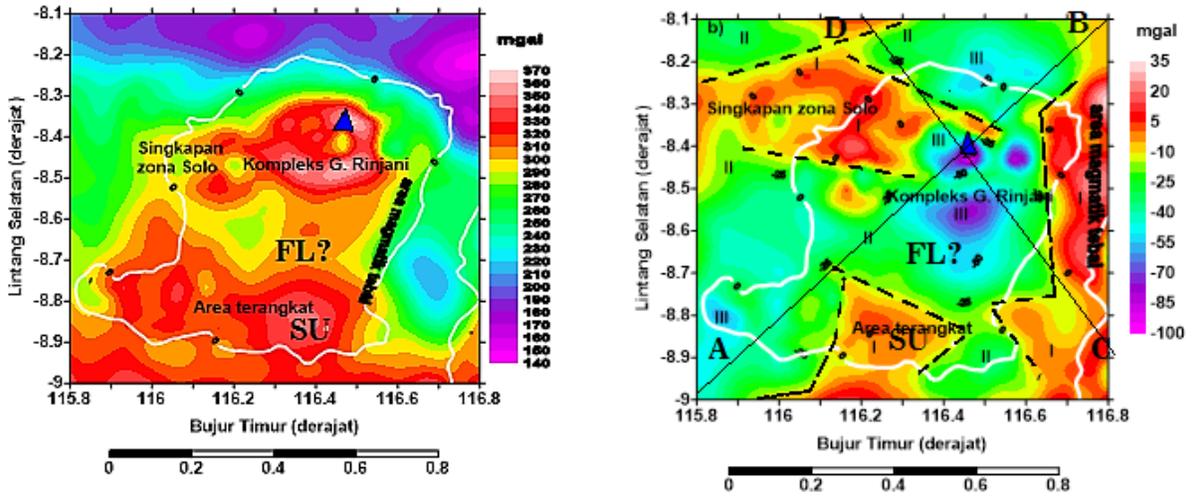
Kesimpulan

Berdasarkan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa patahan dan struktur lainnya seperti yang telah dinyatakan oleh para peneliti sebelumnya, secara umum dapat dideteksi keberadaannya dengan baik berdasarkan anomali gravitasi. Hasil riset Kami membuktikan keberadaan beberapa struktur baru yang tidak ditemukan dalam peta geologi sebelumnya antara lain: i) singkapan zona Solo di sebelah barat Lombok, kerak magmatik tebal yang menjadi batas antara Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa serta area terangkat di Lombok Selatan (SU), semuanya terdeteksi dengan baik dan sesuai dengan pernyataan Peneliti [10]. ii) Dugaan struktur baru yang terdeteksi dengan indikasi anomali rendah melingkar di daerah Kompleks Gunung Rinjani dan daerah Jerowaru sebelah Tenggara Lombok (Gambar 3). Meskipun demikian terdapat beberapa perkiraan patahan tidak terbukti seperti

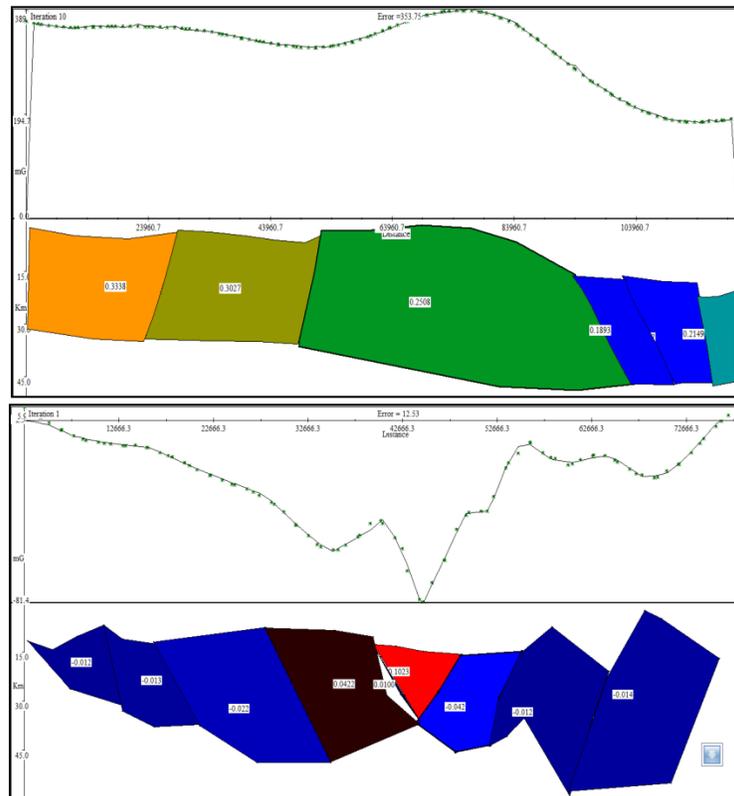
sesar perkiraan (Sesar Lombok: FL) tidak terindikasi sama sekali dengan anomali Bouguer maupun anomali residu serta model inversi struktur 2D bawah permukaan.



Gambar 1. Peta Geologi Lombok (modifikasi dari [2])



Gambar 2. a) Kontur anomali Bouguer dan b) kontur anomali residu Pulau Lombok. Garis AB dan CD adalah *cross-line* untuk interpretasi model stuktur bawah permukaan. Garis putih menunjukan batas laut-darat [17].



Gambar 3. Model 2D anomali sisa: a) Penampang AB (atas), penyebab utama amphibolite (orange hijau) dan diabas (biru) pada kedalaman (1,08-6,27) km. b) Penampang CD (bawah), didominasi oleh *graywacke* (biru), porfiring (orange merah) dan andesit-sekis (biru) secara mendalam (0,27-4,25) km

Ucapan Terimakasih

Kami sampaikan terima kasih kepada ICGEM di University of Witwatersrand yang telah mengizinkan Kami menggunakan data gravitasinya. Penghargaan kepada semua yang membantu dalam riset ini, khususnya teman-teman diskusi

Daftar Pustaka

- [1] N. Suratno (1994) Maps Geology and Minerals Potential West Nusa Tenggara, Office of the Ministry of Mines and Energy NTB.
- [2] S. Andi Mangga, S. Atmawinata, B. Hermanto, B. Setyonugroho and T.C. Amin (1994) Geological Map Sheet Lombok, NTB, Geological research, and development center.
- [3] J.A. Katili (1989) Geologi Indonesia, Majalah Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Volume khusus 60 Tahun Prof. Dr. J.A Katili, vol.12, no.1, Juli
- [4] IN. Astawa, D. Ilahude dan D. Kusnida (2005) Seismic Stratigraphy Sheet 1807 Water Lombok, West Nusa Tenggara, Journal of Marine Geology, vol. 3, no.3, (December) 8-14.
- [5] Sundhoro Herry, Mochamad Nur Hadi, Anna Yushantarti, Edi Suhanto (2007) Integrated Geothermal Survey Sembalun District, East Lombok, J. of the Geological Resource Center, Bandung.
- [6] Coskun Sari and Mu'jgan Salk (2006) Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data, J.of Asian Earth Sciences, 26 39-48.
- [7] Burno Meurer and Diethand Ruess (2009) A New Bouguer Gravity Map of Austria, Austrian Journal of Earth Sciences, vol. 102, 62-70, 11 (May) 62-70
- [8] Victor Corehete, Mimoun Chourak, Driss Khattach, (2010) A Methodolgy for Filtering and Inversion of Gravity Data, Engineering, 2, 149-159.
- [9] Richard, A. Krahenduhl and Yaoguo Li (2006) Inversion of gravity data using a binary formation, Geophys, J.Int. 167, 543 - 556.
- [10] Bemmelen, R.W. van, The Geology of Indonesia. Martinus Nijhoff, The Huger, 1949
- [11] Darman, H. & Saidi, F.H., (2000) An outline of The Geology of Indonesia, IAGI.
- [12] Hamilton, W. (1979) Tectonics of the Indonesia Region, Geological survey Professional paper 1078, Washington.
- [13] Blackely, R.J. (1995) Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications, Cambridge University Press, USA.
- [14] Dampney, C.N.G., (1969) The Equivalent Source Technique, Geophysics v.34, no.1, p.39-35.
- [15] Youguo Li and Douglas w. Oldenburg (1998) 3D inversion of gravity data, Geophysics Vol.63 no.1 (January-February); P.109-119, 14 Figs.
- [16] Gravity data downloaded from <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM>
- [17] Hiden, 2018, Rekonstruksi model sumber dan model kolom letusan Kompleks Gunung Rinjani tahun 1257, berdasarkan sebaran ketebalan lapisan deposit batupung , Disertasi.