

Pemisahan Anomali Regional dan Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode *Moving Average*, *Upward Continuation* dan *Polynomial* di Kepulauan Mentawai

Iqwal Ramadhan, Ahmad Fauzi Pohan*

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 13 Maret 2023
Direvisi: 27 Mei 2023
Diterima: 14 September 2023

Kata kunci:

Anomali Regional
Anomali Residual
Moving Average
Upward Continuation
Polynomial

Keywords:

Regional anomaly
Residual anomaly
Moving Average
Upward Continuation
Polynomial

Penulis Korespondensi:

Ahmad Fauzi Pohan
Email: ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Pemisahan anomali regional dan residual adalah hal yang harus dilakukan dalam pengolahan data yang berhubungan dengan geologi bawah permukaan. Tidak ada ketentuan khusus tentang metode terbaik yang harus digunakan dalam pemisahan anomali, karena pemisahan anomali bersifat subjektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan pada daerah Kepulauan Mentawai dengan menggunakan persebaran nilai anomali. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *moving average*, *upward continuation* dan *polynomial* untuk menginterpretasikan kontur anomali regional dan residual Kepulauan Mentawai. Hasil dari ketiga metode tersebut menunjukkan bahwa *upward continuation* mencerminkan anomali regional dan residual Kepulauan Mentawai lebih baik dibandingkan metode *moving average* dan *polynomial*, karena pada *upward continuation* memiliki kontur dan nilai anomali mendekati kontur dan nilai anomali Bouguer lengkap dan kontur struktur geologi. Sebaran nilai anomali yang rendah berada pada sekitar wilayah Padang, Pulau Siberut, Pulau Sipora dan Pulau Pagai, sehingga diidentifikasi wilayah tersebut memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai massa jenis yang rendah. Sedangkan anomali sedang berada pada laut dangkal yang diidentifikasi memiliki massa jenis yang sedang, dan anomali tinggi berada pada laut dalam di sekitar wilayah Indian Ocean diidentifikasi memiliki massa jenis yang tinggi.

Separation of regional and residual anomalies is a must in processing data related to subsurface geology. There is no specific provision on the best method for anomaly separation because anomaly separation is subjective. This research aims to identify the subsurface structure in the Mentawai Islands area by using the distribution of anomaly values. In this research, the methods used are moving average, upward continuation, and polynomial methods to interpret the regional and residual anomaly contours of the Mentawai Islands. The results of the three methods show that upward continuation reflects the regional and residual anomalies of the Mentawai Islands better than the moving average and polynomial methods because upward continuation has contours and anomaly values close to the contours and values of the complete Bouguer anomaly and geological structure contours. The distribution of low anomaly values is around the Padang area, Siberut Island, Sipora Island, and Pagai Island, so it is identified that the area has a subsurface structure with a low-density value. The medium anomaly is in the shallow sea, which is identified as having a medium density, and the high anomaly is in the deep sea around the Indian Ocean region, identified as having a high density.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi sering terjadi di wilayah Indonesia karena kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Samudera Pasifik dan Lempeng Eurasia (Katili, 1975). Salah satu daerah yang sering mengalami gempa bumi adalah daerah Kepulauan Mentawai. Kepulauan Mentawai memiliki kondisi tektonik yang dipengaruhi oleh zona penunjaman lempeng Indo-Australia ke bawah lempeng Eurasia sehingga wilayah Kepulauan Mentawai termasuk ke dalam zona subduksi segmen Mentawai (Ulinuha, 2015). Oleh karena itu dibutuhkan studi lanjut tentang geofisika untuk mengetahui struktur di bawah permukaan Kepulauan Mentawai.

Metode geofisika sering digunakan untuk menginterpretasikan bentuk struktur bawah permukaan suatu daerah. Metode geofisika yang dimaksud adalah metode seismik, metode magnetik, metode elektromagnetik, metode geolistrik dan metode gravitasi (Telford dkk., 1990). Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang dapat menginterpretasikan bentuk bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi bumi yang diperoleh dari perbedaan densitas antar batuan (Purnomo dkk. 2013).

Pada proses perhitungan data gravitasi, data-data yang sudah dilakukan perhitungan koreksi akan menghasilkan nilai anomali Bouguer (Aditama dkk. 2020). Anomali Bouguer adalah penjumlahan dari anomali regional dan anomali residual (Hinze et al., 2013), sehingga untuk proses interpretasi perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual (Efendi dkk., 2013). Pemisahan anomali regional dan residual dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode yang memiliki proses yang berbeda-beda seperti metode *moving average* (Xu dkk., 2009) dilakukan dengan merata-ratakan nilai anomalnya sehingga diperoleh anomali regionalnya, metode *upward continuation* (Kebede dkk., 2020) dilakukan transformasi medan potensial yang diukur pada suatu permukaan sehingga medan potensial menonjolkan anomali yang dalam yaitu anomali regional, metode *polynomial* (Sahada et al., 2021; Muhajirin dkk., 2020) digunakan dengan mengasumsikan bahwa permukaan *polynomial* dapat menggambarkan anomali regional yang lebih halus.

Penelitian pemisahan anomali regional dan residual ini dilakukan di kawasan Kepulauan Mentawai. Kepulauan Mentawai memiliki tatanan tektonik pantai yang dipengaruhi oleh penunjaman lempeng Indo-Australia ke bawah lempeng Eurasia sehingga wilayah Kepulauan Mentawai termasuk zona subduksi Segmen Mentawai (Ulinuha 2015), yang menyebabkan wilayah Kepulauan Mentawai sering terjadi gempa (Ulinuha dkk. 2019). Selain zona subduksi Segmen Mentawai, di Kepulauan Mentawai terdapat zona Punggungan dan zona Sesar Mentawai, sehingga di wilayah Kepulauan Mentawai memiliki struktur bawah permukaan yang beragam (Mukti dkk., 2012; Setyanta, 2015). Oleh karena itu, untuk mengetahui struktur bawah permukaan dapat dilihat dengan sebaran nilai anomali pada kontur anomali regional dan anomali residual di bawah permukaan Kepulauan Mentawai yang dilakukan dengan filter *moving average*, *upward continuation*, dan *polynomial*. Penggunaan filter *moving average*, *upward continuation*, dan *polynomial* dilakukan untuk mencari bentuk kontur anomali regional dan residual yang sesuai dengan kondisi struktur geologi Kepulauan Mentawai, sehingga diperoleh nilai sebaran anomali regional dan residual yang dapat mengidentifikasi besar kecilnya nilai massa jenis di wilayah Kepulauan Mentawai.

II. METODE

2.1 Data Gravitasi

Penelitian ini menggunakan data dari *Ocean Topography Experiment* (TOPEX). Data TOPEX diperoleh melalui http://TOPEX.ucsd.edu/cgi-bin/get_dssts.cgi. Pada website tersebut diperoleh nilai *Free Air Anomalie* (FAA) dan elevasi wilayah penelitian. Wilayah yang digunakan dalam penelitian ini adalah kawasan Kepulauan Mentawai pada koordinat 98.5°E – 100.5°E dan 0.97°S – 3.5°S.

2.2 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini memiliki wilayah penelitian tidak rata sehingga perlu dilakukan koreksi terrain untuk memperoleh nilai koreksi Bouguer (Reynolds, 2011). Setelah koreksi terrain diperoleh, maka dilakukan koreksi Bouguer (Telford dkk., 1990) dengan menggunakan Persamaan (1)

$$g_{bc} = -0.04191ph \tag{1}$$

dengan ρ adalah densitas Bouguer (massa topografi) dan h adalah ketinggian titik amat dari referensi sferoid.

Setelah nilai koreksi Bouguer dan koreksi terrain diperoleh maka dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai anomali bougeur lengkap menggunakan Persamaan (2)

$$g_{cba} = g_{fa} + g_{tc} + g_{bc} \quad (2)$$

dengan g_{cba} adalah anomali Bouguer lengkap, g_{fa} adalah koreksi udara bebas, g_{tc} adalah koreksi terrain, g_{bc} adalah koreksi Bouguer.

Selanjutnya dilakukan proses pemisahan anomali Bouguer lengkap menjadi anomali regional dan anomali residual dengan menggunakan filter *moving average*, *upward continuation* dan *polynomial*. Hasil filter dari *moving average* adalah anomali regional, yang merupakan hasil dari anomali gelombang panjang (Syukri, 2020), dan anomali regional memiliki jangkauan yang sangat dalam dari permukaan bumi serta memiliki noise yang rendah daripada anomali residual (Supriyadi et al., 2019). Sedangkan anomali residual merupakan selisih antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Secara matematis proses *moving average* menggunakan Persamaan (3)

$$\Delta T_{reg}(i, j) = \frac{\Delta T(i-n, j-n) + \dots + \Delta T(i, j) + \dots + \Delta T(i+n, j+n)}{N} \quad (3)$$

dimana $n = \frac{N-1}{2}$, N harus bilangan ganjil, ΔT_{reg} adalah besarnya anomali regional dan ΔT adalah besarnya anomali Bouguer lengkap.

Setelah diperoleh nilai anomali regional maka nilai anomali residual dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4)

$$\Delta T_{res} = \Delta T - \Delta T_{reg} \quad (4)$$

dimana ΔT_{res} adalah besarnya anomali residual.

Upward continuation adalah proses mengubah medan potensial pada suatu permukaan ke permukaan lainnya yang jauh dari sumber (Prasetyo, 2018). Hasil dari metode ini adalah anomali regionalnya (Purnomo dkk., 2013) dan anomali residual diperoleh dengan menghitung selisih antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Prinsip *upward continuation* menurut Blakely (1996) menggunakan Persamaan (5)

$$u(x', y', z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u(x', y', z_0)}{[(x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2]^{3/2}} \quad (5)$$

dengan $\Delta z > 0$

Polynomial menggambarkan model bidang regional yang halus dengan ditentukan dari orde *polynomial* (Gabtni & Jallouli, 2017). Metode polinomial menggunakan derajat ke- m yaitu $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$ seperti pada Persamaan (6)

$$\Pi = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 \quad (6)$$

dengan a_0, a_1, a_2, \dots dan a_m adalah koefisien yang belum diketahui, x_i dan y_i adalah koefisien yang diketahui.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali Bouguer

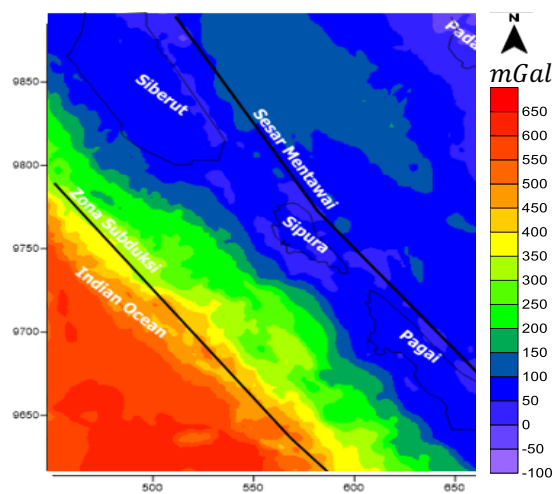
Hasil dari pengolahan data gayaberat di Kawasan Kepulauan Mentawai menggunakan software Surfer dan Oasis Montaj diperoleh kontur anomali Bouguer lengkap (Gambar 1). Pada Gambar 1 menunjukkan kontur anomali Bouguer lengkap di Kawasan Kepulauan Mentawai dengan nilai antara -100 *mGal* hingga 650 *mGal*. Anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru yang mencangkup kawasan di sekitar Padang, Pulau Siberut, Pulau Pagai dan Pulau Sipora, sedangkan anomali tinggi berada pada

daerah *Indian Ocean*. Anomali yang rendah memiliki struktur batuan yang rendah, sedangkan anomali tinggi memiliki struktur batuan yang tinggi (Supriyadi dkk., 2019).

3.2 Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *moving average*

Pemisahan regional dan residual bertujuan untuk memperoleh sumber anomali regional dan residual. Metode *moving average* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan lebar jendela 19, sehingga diperoleh nilai anomali regional yang ditunjukkan pada Gambar 2(a), sedangkan untuk mendapatkan anomali residual dapat dilakukan dengan mengurangi nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional yang ditunjukkan pada Gambar 2(b).

Kontur anomali regional pada Gambar 2(a) memiliki rentangan nilai anomali dari 0 sampai 650 *mGal*. Nilai anomali rendah dari 0 sampai 100 *mGal* berada pada wilayah Padang, Pulau Siberut, Pulau Pagai dan Pulau Sipora. Nilai anomali sedang dari 101 *mGal* sampai 249 *mGal* berada pada wilayah laut dangkal. Sedangkan anomali tinggi dari 250 *mGal* sampai 650 *mGal* berada pada laut dalam yang berada di *Indian Ocean*. Sedangkan kontur anomali residual pada Gambar 2(b) memiliki rentangan nilai anomali dari -130 *mGal* sampai 130 *mGal*.



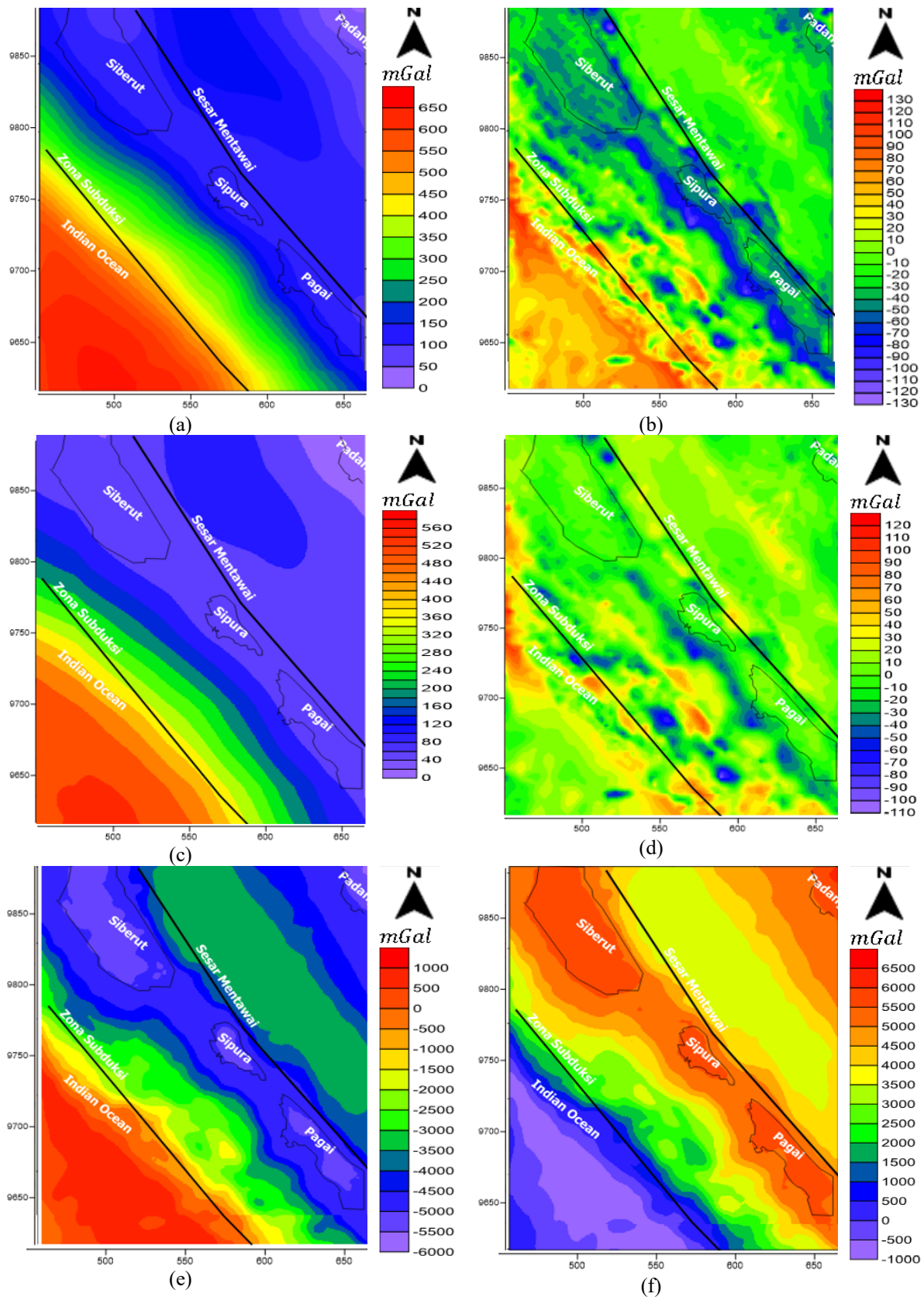
Gambar 1 Peta kontur anomali Bouguer lengkap

Kontur anomali residual pada metode *moving average* kurang presisi bentuk konturnya dengan anomali regional. Hal ini ditandai pada kontur anomali residual di sekitar wilayah *Indian Ocean* memiliki nilai anomali yang tidak kontras dengan wilayah di pulau Siberut dan Padang, sedangkan di anomali regional memiliki nilai anomali yang kontras antara wilayah di sekitar *Indian Ocean* dengan wilayah Pulau Pagai, Pulau Sipora dan Pulau Siberut. Perbedaan bentuk kontur anomali regional (Gambar 2a) dengan anomali residual (Gambar 2b) karena *moving average* digunakan jika pada proses pemisahan anomali menggunakan sebaran data penelitian yang datar dengan nilai anomali Bouguer yang kecil (Purnomo dkk., 2013), sedangkan Kepulauan Mentawai memiliki daerah yang tidak datar dan sebaran anomali yang bervariasi (Mangga dkk., 1994).

3.3 Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *upward continuation*

Pada proses pemisahan filter *upward continuation* menggunakan ketinggian 10 km dari permukaan laut, sehingga diperoleh nilai anomali yang cenderung menonjol pada sumber yang dalam dengan mengabaikan anomali pada sumber yang dangkal yang ditunjukkan pada Gambar 2(c). Nilai anomali residual pada Gambar 2(d) diperoleh dengan menyelisihkan nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional.

Kontur anomali regional pada Gambar 2(c) memiliki rentangan nilai dari 0 sampai 560 *mGal*, sehingga nilai anomali dibagi menjadi tiga bagian. Nilai anomali kecil pada 0 – 80 *mGal* berada pada wilayah Padang, Pulau Siberut, Pulau Pagai dan Pulau Sipora. Nilai anomali sedang berada pada rentangan 81 *mGal* sampai 200 *mGal* yang diidentifikasi berada pada sekitar laut dangkal di Pulau Siberut, Pulau Pagai dan Pulau Sipora. Sedangkan nilai anomali tinggi berada pada rentangan 201 *mGal* sampai 560 *mGal* yang diprediksi berada pada laut dalam di sekitar wilayah *Indian Ocean*. Bentuk kontur anomali regional pada metode *upward continuation* hampir sama dengan bentuk kontur anomali regional pada *Moving Average*. Sedangkan kontur anomali residual pada Gambar 2(d) memiliki



Gambar 2 Hasil pemisahan (a) anomali regional metode *moving average* (b) anomali residual metode *moving average* (c) anomali regional metode *upward continuation* (d) anomali residual metode *upward continuation* (e) anomali regional metode *polynomial* (f) anomali residual metode *polynomial*

rentangan nilai anomali -110 *mGal* sampai 120 *mGal*, sehingga nilai anomali dibagi menjadi 3 bagian. Anomali kecil berada pada nilai -110 *mGal* sampai -40 *mGal* yang diidentifikasi berada pada sekitar wilayah Padang, Pulau Siberut, Pulau Sipora dan Pulau Pagai. Anomali sedang berada pada nilai -39 *mGal* sampai 20 *mGal* yang diprediksi berada pada laut dangkal di sekitar wilayah yang memiliki anomali kecil (Setyanta, 2015). Sedangkan anomali tinggi berada pada nilai 21 *mGal* sampai 120 *mGal* yang diprediksi berada pada laut dalam di sekitar wilayah *Indian Ocean* (Setyanta, 2015). Nilai anomali regional dan residual mendekati dengan nilai kontur anomali Bouguer lengkap dengan rentangan -100 *mGal* hingga 650 *mGal* dan kontur anomali regional dan residual sama dengan kontur geologi di Kepulauan Mentawai (Gambar 1). Terlihat bahwa anomali kecil berada pada wilayah daratan yang diidentifikasi memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai densitas yang kecil, sedangkan nilai anomali besar berada pada wilayah lautan yang diidentifikasi memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai densitas yang besar (Mukti dkk., 2012; Mangga dkk., 1994).

3.4 Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *polynomial*

Anomali regional adalah anomali gayaberat yang memiliki frekuensi yang rendah dan memiliki amplitudo gelombang yang tinggi sehingga respon anomali regional berasal dari batuan dengan nilai densitas tinggi dan berada pada kedalaman yang jauh dari permukaan (Aditama dkk., 2020). Pada penelitian ini menggunakan *polynomial* orde 2 sehingga hasil dari proses *polynomial* yaitu anomali regional seperti pada Gambar 2(e). Untuk memperoleh anomali residual pada Gambar 2(f) maka dilakukan penyesuaian antara anomali Bouguer dengan anomali regional.

Kontur anomali regional pada Gambar 2(e) memiliki nilai anomali yaitu -6000 *mGal* sampai 1000 *mGal*, sehingga anomalnya dibagi menjadi tiga bagian. Anomali kecil berada pada rentangan nilai -6000 *mGal* sampai -3500 *mGal* berada pada wilayah di sekitar Padang, Pulau Siberut, Pulau Sipora dan Pulau Pagai. Anomali sedang berada pada nilai -3499 *mGal* sampai -2000 *mGal* berada pada laut dangkal di sekitar anomali kecil. Sedangkan anomali tinggi berada pada nilai -1999 *mGal* sampai 1000 *mGal* yang diprediksi pada laut dalam di sekitar wilayah *Indian Ocean*. Anomali residual pada metode *polynomial* pada Gambar 2(f) memiliki nilai anomali dengan rentangan nilai -1000 *mGal* sampai 6500 *mGal*. Nilai anomali regional dengan anomali residual pada metode *polynomial* tidak presisi serta nilai anomalnya sangat jauh dari nilai anomali Bouguer lengkap yang memiliki rentangan hanya antara -100 *mGal* hingga 650 *mGal*. Hal ini disebabkan karena metode *polynomial* dipengaruhi oleh bentuk kontur wilayah yang tidak datar, sehingga akan mempengaruhi ke nilai anomali regional dan nilai anomali residual (Purnomo dkk., 2013). Kondisi geologi Kepulauan Mentawai berbeda dengan hasil kontur anomali residual pada proses *polynomial*, karena di wilayah sekitar *Indian Ocean* dan perairan Kepulauan Mentawai memiliki densitas yang tinggi dibandingkan daratan Mentawai (Mukti dk., 2012; Setyanta, 2015; Mangga dkk., 1994).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh anomali regional dan residual dengan menggunakan filter *moving average*, *upward continuation*, dan *polynomial* yang dapat mengidentifikasi bentuk struktur bawah permukaan Kepulauan Mentawai. Pada proses pemisahan anomali regional dan residual yang telah dilakukan diperoleh anomali yang sesuai dengan geologi wilayah Kepulauan Mentawai dan kontur anomali Bouguer lengkap adalah metode *upward continuation*. Bentuk kontur dari nilai anomali regional dan residual pada metode *upward continuation* sesuai dengan kontur dan nilai anomali Bouguer lengkap di Kepulauan Mentawai. Bentuk kontur anomali regional dan residual pada filter *upward continuation* diperoleh bahwa nilai anomali yang rendah berada pada sekitar wilayah Padang, Pulau Siberut, Pulau Sipora dan Pulau Pagai sehingga diidentifikasi wilayah tersebut memiliki struktur bawah permukaan dengan nilai massa jenis yang rendah, sedangkan anomali sedang berada pada laut dangkal yang diidentifikasi memiliki massa jenis yang sedang, dan anomali tinggi berada pada laut dalam di sekitar wilayah *Indian Ocean* diidentifikasi memiliki massa jenis yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, F., Jaya, M. N., Rasimeng, S., & Dani, I. (2020). Metode Polynomial Untuk Memisahkan Anomaly Residual dan Regional Pada Data Gayaberat Daerah Pasaman Barat, Sumatera Barat. *Jurnal Geocelebes*.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Efendi, R., Kadir, W. G. A., Santoso, D., Abdullah, C. I., & Alawiyah, S. (2013). Gravity gradient technique to identify fracture zones in Palu Koro strike-slip fault. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 248–255.
- Gabtni, H., & Jallouli, C. (2017). Regional-residual separation of potential field: an example from Tunisia. *Journal of Applied Geophysics*, 137, 8–24.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. R. B., Von Frese, R., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*. Cambridge University Press.
- Katili, J. A. (1975). Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs. *Tectonophysics*, 26(3–4), 165–188.
- Kebede, H., Alemu, A., & Fisseha, S. (2020). Upward continuation and polynomial trend analysis as a gravity data decomposition, case study at Ziway-Shala basin, central Main Ethiopian rift. *Heliyon*, 6(1), e03292.
- Muhajirin, M., Ismail, N., & Bukhari, B. (2020). The Computation of Residual and Regional Anomaly of Gravity Method Data By Polynomial Filter Using Microsoft Excel. *Journal of Aceh Physics Society*, 9(2), 37–41.
- Mukti, M. M., Singh, S. C., Deighton, I., Hananto, N. D., Moeremans, R., & Permana, H. (2012). Structural evolution of backthrusting in the Mentawai Fault Zone, offshore Sumatran forearc. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 13(12).
- Prasetyo, A. (2018). Estimasi Ketinggian Optimum Kontinuasi Ke Atas Untuk Pemisahan Data Gayaberat Dengan Menggunakan Korelasi Silang. *Al-Jazari: Journal Mechanical Engineering*, 3(1), 10–14.
- Purnomo, J., Koesuma, S., & Yuniyanto, M. (2013). Pemisahan anomali regional-residual pada metode gravitasi menggunakan metode moving average, polynomial dan inversion. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 3(1), 10–18.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley.
- Sahada, M. F., Pratiwi, I., Zulfayani, I., Syamsurijal, R., & Dani, I. (2021). Analisis Perbandingan Hasil Pemodelan Orde 1 dan Orde 2 Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode Regresi Polinomial Menggunakan Perangkat Lunak Matlab Studi Kasus Bandar Lampung. *Geocelebes*.
- Setyanta, B. (2015). Model Kerak Daerah Busur Muka di Pulau Siberut dan Perairan di Sekitarnya Berdasarkan Analisis Anomali Gayaberat. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 16(2), 55–65.
- Supriyadi, S., Khumaedi, K., Sugiyanto, S., & Setiaswan, F. (2019). Pemisahan Anomali Regional dan Residual Data Gayaberat Studi Kasus di Kota Lama Semarang. *Physics Education Research Journal*, 1(1), 29–36.
- Syukri, M. (2020). *Pengantar Geofisika*. Syiah Kuala University Press.
- Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Ulinuha, H. (2015). *Analisis Deformasi Aspek Geometrik Segmen Mentawai Akibat Gempa Tektonik 10 Juli 2013*. Universitas Gadjah Mada.
- Ulinuha, H., Sunantyo, T. A., & Widjajanti, N. (2019). Analisis Deformasi Segmen Mentawai Fase Post-Seismic 10 Juli 2013. *Seminar Nasional Geomatika*, 3, 813–818.
- Xu, Y., Hao, T., Li, Z., Duan, Q., & Zhang, L. (2009). Regional gravity anomaly separation using wavelet transform and spectrum analysis. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(3), 279–287.