



Pemodelan 2D Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Lumbang Rarat, Tapanuli Utara, Berdasarkan Data Gravitasi GGMPPlus 2013

Risky Marolop Pirdaus, Muhardi*, dan Radhitya Perdhana

Program Studi Geofisika, Universitas Tanjungpura, Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi, Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat 78124

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan nilai anomali gravitasi di daerah Lumbang Rarat, Tapanuli Utara, Sumatra Utara. Daerah ini merupakan wilayah dengan kondisi geologi kompleks yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik. Data yang digunakan pada penelitian ini diunduh dari *Global Gravity Model plus* (GGMplus) 2013. Penentuan nilai rata-rata densitas batuan dilakukan menggunakan metode Parasnis, sedangkan identifikasi struktur geologi dilakukan menggunakan analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Pemodelan 2D dilakukan pada anomali regional dengan tiga lintasan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan. Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa formasi batuan di daerah penelitian terdapat tiga jenis, yaitu Formasi Tufa Toba (Qvt) dengan densitas $1,9 \text{ g/cm}^3$, Formasi Gunungapi Sihabuhabu (Tuvs) dengan densitas $2,2 \text{ g/cm}^3$, dan Formasi Kelompok Tapanuli Tak Terpisah (Put) dengan densitas $2,5 \text{ g/cm}^3$. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya struktur sesar yang membentuk struktur *horst* dan *graben* pada formasi Tuvs dan Put sebagai *basement*. Berdasarkan hasil ini, disarankan untuk melakukan studi lebih lanjut terkait pemetaan dan mitigasi risiko bencana geologi, terutama untuk mengidentifikasi potensi sesar aktif yang dapat mempengaruhi kestabilan tanah di daerah tersebut.

Kata kunci: anomali Bouguer; gravitasi; GGMPPlus; struktur geologi

Abstract

This study aims to identify subsurface geological structures based on gravity anomaly values in the Lumbang Rarat area, North Tapanuli, North Sumatra. This is an area which has complex geological conditions influenced by tectonic activity. The data used in this study were downloaded from Global Gravity Model plus (GGMplus) 2013. The average value of rock density is determined using the Parasnis method. In contrast, the identification of geological structures is conducted using First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) analysis. The 2D modeling was performed on the regional anomaly with three passes to determine the subsurface conditions. The 2D modeling results show that there are three types of rock formations in the study area, namely the Toba Tuff Formation (Qvt) has a density of 1.9 g/cm^3 , Sihabuhabu Volcano Formation (Tuvs) has a density of 2.2 g/cm^3 , and Inseparable Tapanuli Group Formation (Put) has a density of 2.5 g/cm^3 . The results also show faults, forming horst and graben in the Tuvs and Put formations as basements. Based on these results, further studies related to geological disaster risk mapping and mitigation are recommended, especially to identify potential active faults affecting land stability in the area.

Keywords: Bouguer anomaly; gravity; GGMPPlus; geological structure

PENDAHULUAN

Sumatra Utara merupakan salah satu provinsi yang dilintasi Sesar Semangko yang membent-

tang sepanjang Pulau Sumatra. Daerah Lumbang Rarat, Tapanuli Utara merupakan daerah yang masuk ke dalam segmen renun, salah satu segmen

* Korespondensi: muhardi@physics.untan.ac.id

Diajukan : 9 September 2024

Diterima : 7 Maret 2025

Diterbitkan : 29 Agustus 2025

DOI: 10.14710/jgt.8.1.2025.16-23

besar pada sesar yang berdampak pada geologi permukaan daerah penelitian. Oleh karena itu, daerah ini merupakan wilayah dengan kondisi geologi kompleks yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik (Alif et al., 2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan berdasarkan nilai anomali gravitasi di daerah Lumbang Rarat.

Geologi Regional

Geologi daerah Lumbang Rarat dan sekitarnya didominasi oleh Tufa Toba, Formasi Gunung-api Sihabuhabu, dan Formasi Kelompok Tapanuli Tak Terpisahkan, yang ditunjukkan pada Gambar 1. Formasi batuan pada wilayah ini menggambarkan sejarah geologi yang dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik dan tektonik. Formasi Tufa Toba merupakan batuan vulkanik hasil letusan Gunung Toba, dengan tufa yang terendapkan. Formasi Gunungapi Sihabuhabu merupakan batuan vulkanik yang terbentuk dari aktivitas magmatik, yang membuktikan adanya periode vulkanisme aktif yang menghasilkan batuan beku. Formasi Kelompok Tapanuli Tak Terpisahkan terbentuk dalam lingkungan tektonik yang kompleks, akibat pergerakan lempeng yang menghasilkan struktur geologi yang lebih terangkat dan bervariasi. Secara keseluruhan, kondisi geologi regional mengindikasikan wilayah ini dipengaruhi oleh vulkanisme dan pergerakan tektonik yang juga

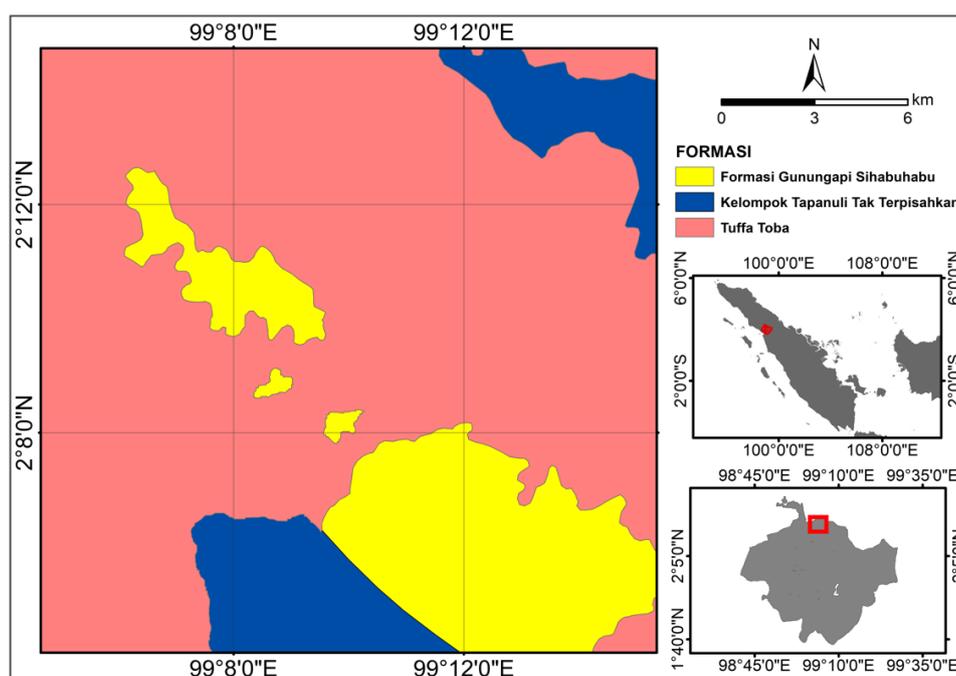
telah membentuk kondisi geologi di Pulau Sumatra (Barber et al., 2005).

Metode Gravity (Gravitasi)

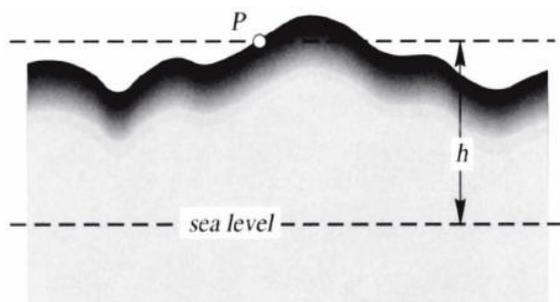
Metode gravitasi merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dengan mengukur variasi gravitasi yang disebabkan variasi densitas batuan (Nurwidyanto, 2011). Metode ini dipengaruhi oleh posisi lintang, tinggi alat, pasang surut, topografi, dan densitas batuan, sehingga menghasilkan anomali gravitasi yang dapat memberikan informasi kondisi geologi bawah permukaan (Nugraha et al., 2016).

Anomali gravitasi dapat dimodelkan dengan tujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi berupa sesar dan kondisi bawah permukaan (Mustofa & Sehad, 2016). Pemodelan 2,5D dapat dilakukan dengan mengetahui informasi geologi serta analisis sesar berdasarkan *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) (Zulkifli et al., 2024). Anomali gravitasi dapat merepresentasikan variasi densitas, keberadaan sesar dan kondisi bawah permukaan (Harsita et al., 2024; Telford et al., 1990).

Stasiun pengukuran yang berada pada lapisan batuan *slab* dengan ketinggian tertentu (Gambar 2), maka lapisan batuan yang terukur memberikan pengaruh massa pada proses pengukuran.. Koreksi Bouguer digunakan untuk



Gambar 1. Peta geologi regional Lumbang Rarat dan sekitarnya (<https://geologi.esdm.go.id/geomap>)



Gambar 2. Ilustrasi pengaruh ketinggian terhadap anomali Bouguer (Dentith & Mudge, 2014)

memperhitungkan tarikan gravitasi massa batuan pada *slab* Bouguer tersebut, sehingga massa yang terukur memiliki pengaruh terhadap gravitasi di sekitarnya (Muhardi et al., 2023). Koreksi Bouguer memperhitungkan massa bawah permukaan, sehingga dibutuhkan massa jenis yang dapat mewakili massa setiap *slab* pengukuran koreksi Bouguer (Dentith & Mudge, 2014; Ulfa et al., 2019). Koreksi Bouguer diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1).

$$BC = 2\pi Gh \quad (1)$$

G = konstanta gravitasi $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$

ρ = densitas benda (kgm^{-3})

h = ketinggian titik pengukuran (m)

Metode Parasnis

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai densitas batuan dalam pengelompokan jenis batuan adalah metode Parasnis. Metode ini menggunakan garis regresi linier dan anomali Bouguer pada persamaan Bouguer dianggap bernilai nol (Green, 1980). Metode ini digunakan untuk menentukan densitas batuan yang mewakili massa dengan densitas Bouguer pada setiap slab pengukuran.

Kontinuasi ke Atas

Kontinuitas ke atas adalah filter yang digunakan untuk mengurangi noise pada data yang disebabkan oleh keberadaan benda-benda dekat permukaan. Filter ini mengubah data anomali Bouguer lengkap (ABL) yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya dengan menaikkan nilai levelnya, sehingga anomali yang lebih dalam menjadi lebih terlihat. Menaikkan nilai anomali pada kontinuasi ke atas ditentukan dengan cara mengetahui kedalaman objek yang ingin diteliti. Dengan demikian, kontinuasi dapat memisahkan anomali regional dan anomali residual (Blakely,

1996).

Analisis Derivative (FHD dan SVD)

FHD merupakan turunan pertama secara horizontal dari gaya berat antara dua titik ukur, yang menggambarkan karakteristik nilai maksimum dan minimum yang berhubungan dengan keberadaan benda anomali bawah permukaan. Anomali FHD menunjukkan batas struktur geologi pada data anomali Bouguer. Data SVD digunakan untuk interpretasi struktur berdasarkan anomali Bouguer, yang diakibatkan oleh struktur patahan naik atau turun. Hasil analisis FHD dan SVD digunakan sebagai informasi dalam pemodelan *forward modelling* (Agustin & Wibawa, 2022; Aufia et al., 2020).

Reduksi Bidang Datar

Reduksi bidang datar merupakan metode yang digunakan untuk mengangkat anomali gravitasi pada suatu bidang datar. Salah satu metode yang digunakan adalah metode Damney. Metode ini digunakan untuk menentukan titik massa pada kedalaman tertentu dengan menggunakan ABL di permukaan. Untuk mengangkat anomali gravitasi pada bidang datar, titik pengukuran dengan ketinggian yang bervariasi harus dibatasi dengan mengetahui topografi tertinggi dari data anomali gravitasi, sehingga diperoleh Persamaan (2) (Setyawan, 2005).

$$2,5\Delta x < h - z_i < 6\Delta x \quad (2)$$

Δx = jarak rata-rata stasiun titik pengukuran (m)

h = bidang kedalaman ekuivalen titik massa (m)

z_i = ketinggian titik amat (m)

z_i = ketinggian titik amat (m)

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari GGMplus yang dirilis pada tahun 2013. Data ini berupa *disturbance gravity (dg)* yang telah diekstraksi, sehingga menghasilkan data gravitasi udara bebas (FAA) dengan dengan 620 titik pengukuran. Data elevasi dibutuhkan untuk melanjutkan pengolahan ke tahap koreksi *terrain* hingga Bouguer. Data elevasi diperoleh dari laman USGS yang diekstraksi sesuai dengan koordinat gravitasi udara bebas.

Penentuan densitas batuan untuk mengidentifikasi densitas yang dapat mewakili densitas

Bouguer. Metode yang digunakan adalah metode Paransis yang menerapkan prinsip regresi linier dengan sumbu x sebagai hasil selisih koreksi Bouguer dan koreksi medan dan sumbu y menggunakan nilai dari anomali udara bebas.

Analisis struktur geologi menggunakan analisis *derivative* FHD dan SVD. Filter digunakan untuk mengetahui adanya sesar, kontak batuan serta batas lapisan geologi. Bidang kontak sesar ataupun kontak geologi diketahui dengan melihat grafik nilai FHD maksimum dan gravik nilai SVD bernilai 0.

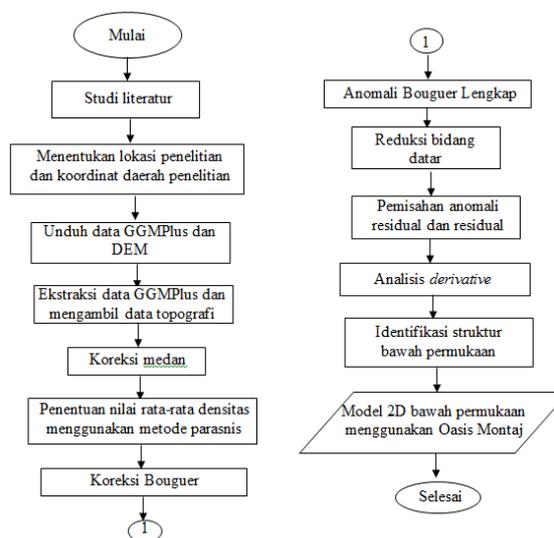
Pemodelan 2D bertujuan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan nilai gravitasi yang telah dikoreksi, dan filter *derivative* sebagai indikasi keberadaan adanya sesar. Secara keseluruhan, prosedur penelitian disajikan dalam diagram alir penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

HASIL

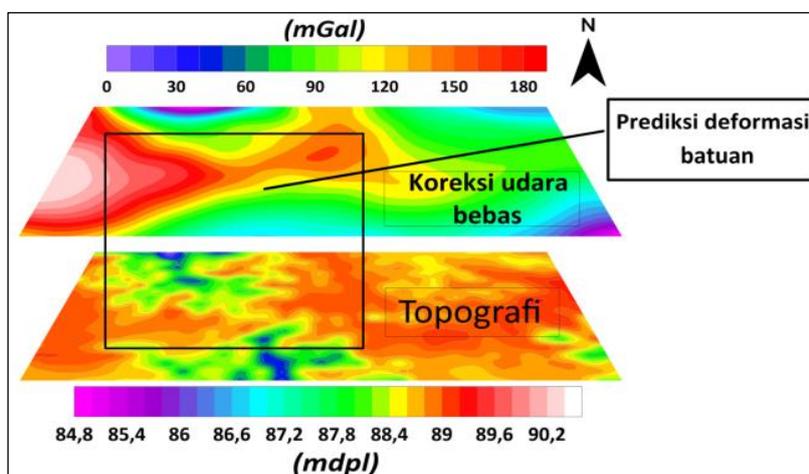
Pengukuran yang dilakukan melalui citra satelit GGMplus 2013 merupakan pengukuran dengan konsep *grid* dengan jarak datum tertentu pada suatu lokasi. Daerah penelitian memiliki karakteristik morfologi berupa perbukitan dengan undulasi tinggi. Titik *grid* datum pengukuran anomali pada daerah penelitian, elevasi tertinggi pada daerah penelitian bernilai 179 m dan terendah 0 m dengan jarak pengukuran antar datum GGMplus 2013 sejauh 210 m. Data yang diperoleh merupakan data sebaran anomali yang sudah dilakukan koreksi udara bebas, kemudian data tersebut diolah dan dilakukan koreksi, sehingga menghasilkan nilai anomali Bouguer. Nilai anomali tersebut dikurangkan dengan nilai

koreksi udara bebas dan ditambahkan dengan nilai koreksi medan, sehingga menghasilkan anomali Bouguer lengkap, seperti pada Gambar 4.

Topografi yang tinggi berasosiasi dengan anomali tinggi. Hal ini mengindikasikan adanya deformasi batuan, karena pada umumnya topografi tinggi berasosiasi dengan anomali rendah. Keberadaan deformasi batuan di daerah penelitian dikonfirmasi pada peta geologi yang menunjukkan adanya garis sesar pada area tersebut. Keberadaan sesar dibuktikan dengan *slice* pada penampang sebaran anomali percepatan gravitasi FHD dan SVD. Indikasi sesar ditunjukkan dengan FHD mencapai titik maksimum dan SVD dengan nilai 0 yang ditemukan pada masing-masing *slice* di daerah penelitian.



Gambar 3. Diagram alir penelitian



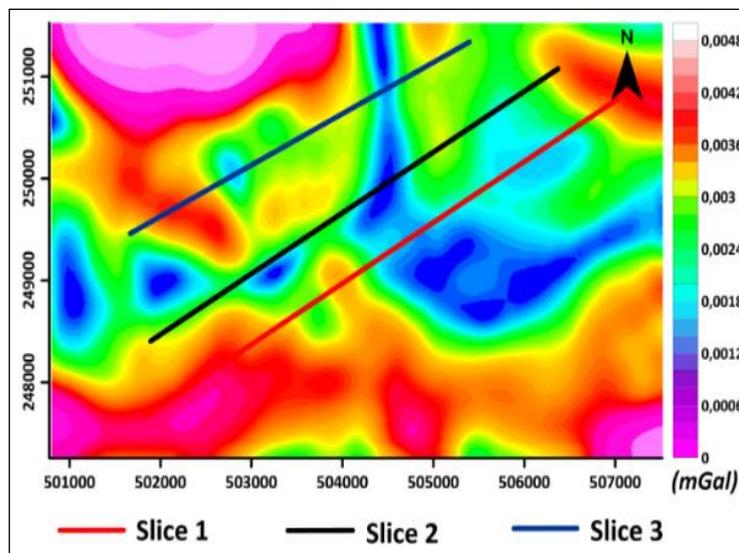
Gambar 4. Overlay penampang topografi dan anomali gravitasi

Indikasi keberadaan sesar diperlukan pada proses pemodelan struktur bawah permukaan. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu dengan hasil analisis FHD dan SVD pada Gambar 5 dan Gambar 6. Jika FHD maksimum dan SVD bernilai 0, maka terindikasi adanya sesar pada titik tersebut. Keberadaan sesar juga dapat mempengaruhi morfologi permukaan. Dengan mengamati morfologi permukaan, diperoleh informasi lebih lanjut tentang aktivitas sesar yang terjadi dan dampaknya terhadap kondisi geologi di wilayah tersebut.

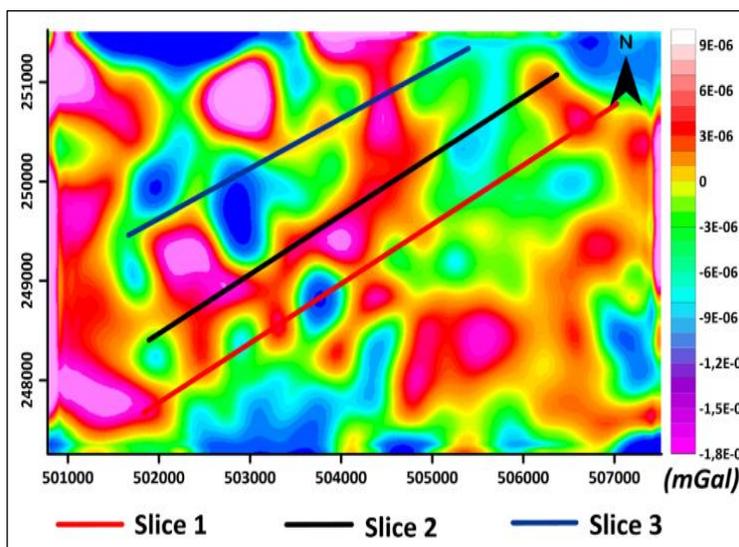
PEMBAHASAN

Penampang 2D pada slice 1 (Gambar 7) memperlihatkan adanya tiga indikasi sesar pada

jarak masing-masing 1.000 m, 2.500 m, 4.500 m. Lapisan paling atas berwarna merah muda merupakan Formasi Tufa Toba (Qvt) dengan densitas 1,9 g/cm³, lapisan kedua berwarna kuning merupakan Formasi Gunungapi Sihabuhabu (Tuvs) dengan densitas 2,2 g/cm³, lapisan ketiga merupakan Formasi Kelompok Tapanuli tak terpisah (Put) dengan densitas 2,5 g/cm³. Terdapat tiga sesar yang mengakibatkan deformasi pada lapisan Tuvs dan Qvt dengan bentuk seperti pada Gambar 6. Keberadaan sesar ini mengakibatkan adanya penurunan formasi batuan (graben), dan kenaikan formasi (horst). Hal ini yang mengakibatkan topografi di daerah penelitian memiliki undulasi dan struktur geologi yang kompleks.



Gambar 5. Hasil filter FHD



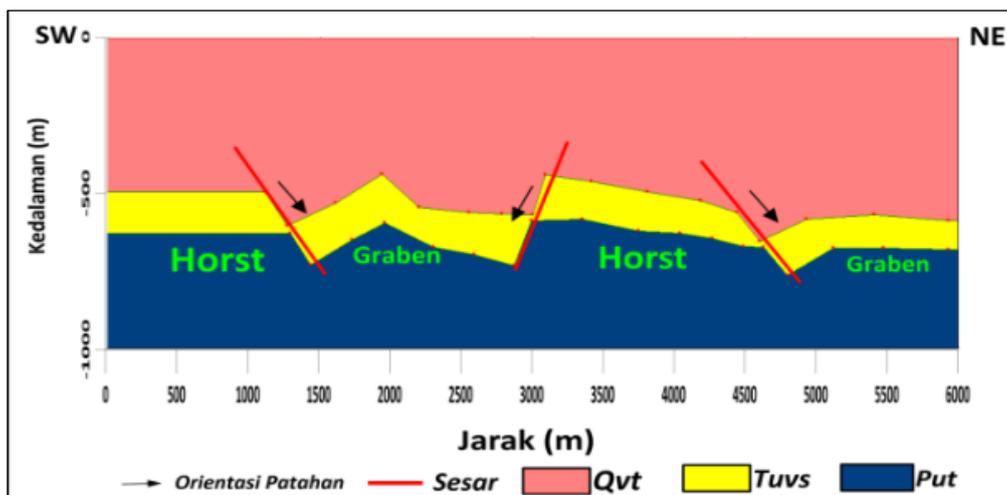
Gambar 6. Hasil filter SVD

Penampang 2D pada *slice 2* (Gambar 8) memperlihatkan adanya lima indikasi sesar pada jarak masing-masing 100 m, 1.000 m, 2.000 m, 4.000 m dan 5.000 m. Penampang *slice 2* berjarak 5.250 m dengan formasi per lapisan yang sama dengan *slice 1*. Pada pemodelan *slice 2* terdapat lima indikasi sesar yang mengakibatkan terjadinya deformasi struktur geologi bawah permukaan yang bervariasi. Keberadaan sesar ini mengakibatkan adanya penurunan formasi batuan (*graben*), dan kenaikan formasi (*horst*).

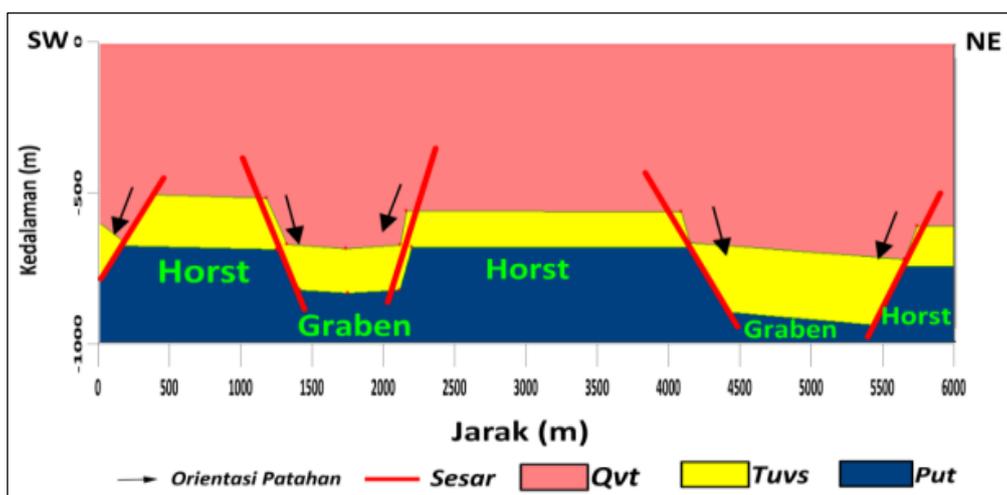
Penampang 2D pada *slice 3* (Gambar 9) memperlihatkan adanya lima indikasi sesar pada jarak masing-masing 100 m, 1.000 m, 1.500 m, 2.500 m dan 4.000 m model penampang pada *slice 3* berjarak 4.180 m, memperlihatkan tiga jenis lapisan batuan yang sama dengan *slice* sebelumnya. Pada *slice 3* terdapat lima indikasi sesar yang mengakibatkan terjadinya deformasi

struktur *graben* dan *half graben* pada lapisan *basement* yang berpengaruh pada lapisan di atasnya. Adanya *graben* dan *half graben* ini menyebabkan struktur permukaan daerah penelitian menjadi lebih turun dan berundulasi.

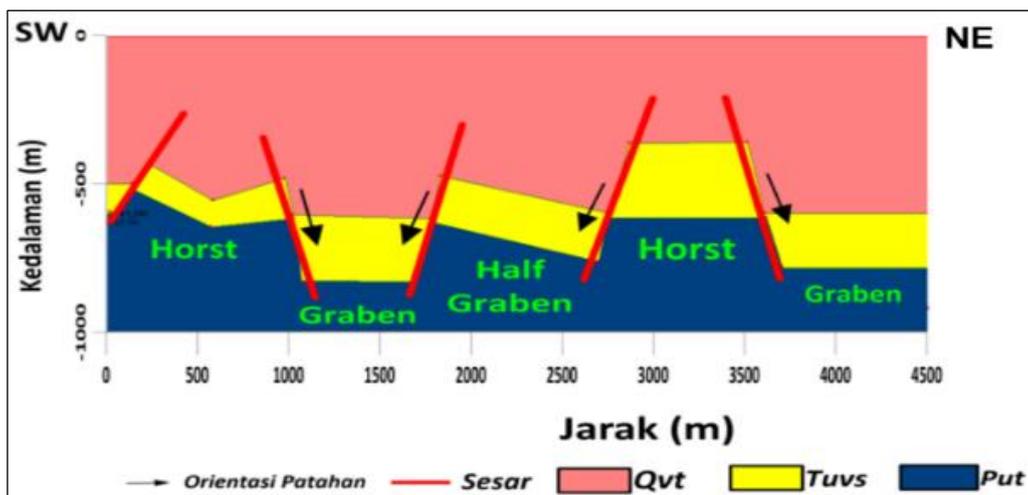
Setiap titik pada sesar memiliki titik koordinat yang akan divalidasi dengan *overlay* peta geologi. Setelah diketahui kesesuaian titik sesar dengan jalur sesar sebenarnya, maka dilakukan *overlay* pada peta topografi untuk melihat pengaruh sesar terhadap topografi di permukaan daerah penelitian. Gambar 10 menunjukkan morfologi di permukaan yang diduga dipengaruhi oleh keberadaan sesar yang membentuk *graben* dan *horst*. Hal ini ditunjukkan dengan hasil pemodelan 2D kondisi geologi bawah permukaan yang mengindikasikan adanya sesar, sehingga mempengaruhi perubahan morfologi pada permukaan daerah penelitian.



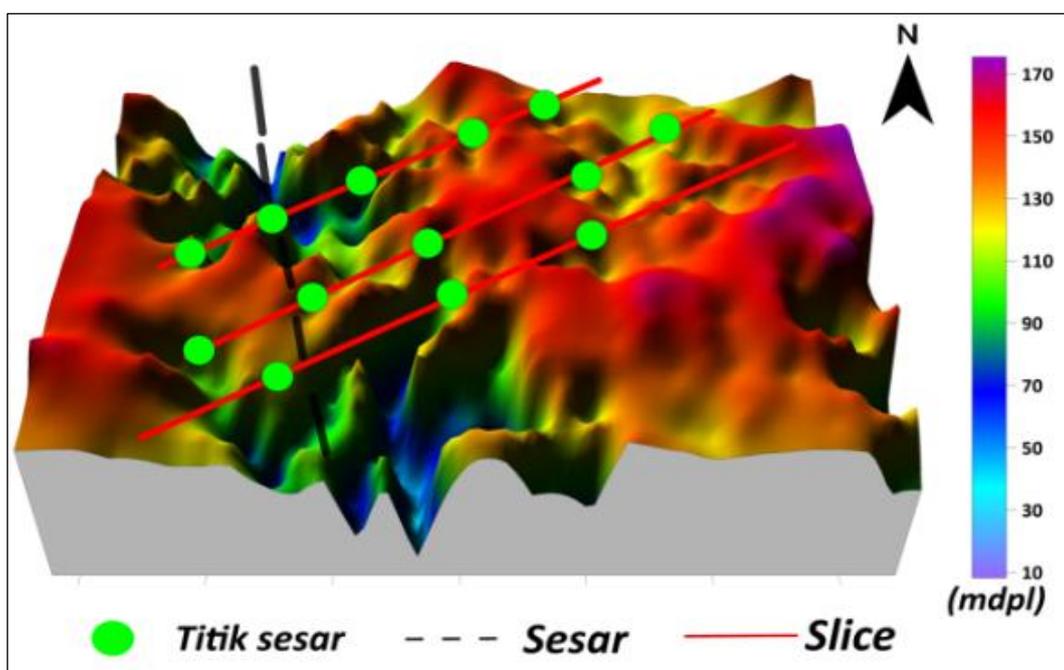
Gambar 7. Penampang 2D pada *slice 1*



Gambar 8. Penampang 2D pada *slice 2*



Gambar 9. Penampang 2D pada slice 3



Gambar 10. Overlay topografi dan titik sesar menunjukkan adanya pengaruh sesar pada topografi daerah penelitian.

KESIMPULAN

Hasil pemodelan 2D menunjukkan bahwa formasi batuan di daerah penelitian terdapat tiga jenis, yaitu Formasi Tufa Toba (Qvt) dengan densitas $1,9 \text{ g/cm}^3$, Formasi Gunungapi Sihabuhabu (Tuvs) dengan densitas $2,2 \text{ g/cm}^3$, dan Formasi Kelompok Tapanuli Tak Terpisah (Put) dengan densitas $2,5 \text{ g/cm}^3$. Hasil penelitian juga menunjukkan terdapat struktur sesar, sehingga membentuk struktur horst dan graben pada formasi Tuvs dan Put sebagai basement.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Laboratorium Geofisika dan Sistem Informasi Geografis Universitas Tanjungpura, yang telah memfasilitasi penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N., & Wibawa, A. (2022). Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Cipari. *Jambura Geoscience Review*, 4(1), 22–32.
- Alif, S. M., Fattah, E. I., & Kholil, M. (2020).

- Geodetic Slip Rate and Locking Depth of East Semangko Fault Derived from GPS Measurement. *Geodesy and Geodynamics*, 11(3), 222–228.
- Aufia, Y. F., Karyanto, K., & Rustadi, R. (2020). Pendugaan Patahan Daerah “Y” Berdasarkan Anomali Gayaberat Dengan Analisis Derivative. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 5(1), 75–88.
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. S. (2005). *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. The Geological Society.
- Blakely, J., R. (1996). Potential Theory in Gravity and Magnetic. In *Cambridge University Press*. Cambridge University Press.
- Dentith, M., & Mudge, S. (2014). *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press.
- Green, R. (1980). Principles of Applied Geophysics. In *Geoexploration*.
- Harsita, S., Muhandi, & Perdhana, R. (2024). Analisis Sebaran Anomali Gravitasi untuk Observasi Struktur Geologi Zona Mineralisasi di Daerah Ciarinem dan Sekitarnya. *Journal Online of Physics*, 9(3), 18–25.
- Muhandi, Nasharuddin, & Prastika, Y. (2023). Identification of The Subsurface Structure Using Gravity Method in Kasihan Village, Pacitan Regency. *AIP Conference Proceedings*, 2480(020002), 1-7.
- Mustofa, I., & Sebah. (2016). Pemodelan Sesar di Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjar Negara Berdasarkan Data Anomali Gravitasi. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, 3(1), 1–7.
- Nugraha, P., Yulianti, I., & Tanggalnya, A. D. A. (2016). Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Citra Satelit. *Unnes Physics Journal*, 5(2), 37–41.
- Nurwidyanto, M. I. (2011). Pemodelan Anomali Gravitasi Sesar Dengan Pendekatan Model Sheet (Modelling Gravity Anomalies of Fault By Sheet Model Approach). *Berkala Fisika*, 14(4), 129–134.
- Setyawan, A. (2005). Kajian Metode Sumber Ekuivalen Titik Massa Pada Proses Pengangkatan Data Gravitasi Ke Bidang Datar. *Berkala Fisika*, 8(1), 7–10.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (Second Edi). Cambridge University Press.
- Ulfa, M., Azwar, A., & Muhandi. (2019). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Area Sumber Air Panas Non-Vulkanik di Kabupaten Sanggau Berdasarkan Citra Satelit ERS-1 dan Geosat. *Prisma Fisika*, 7(2), 127–133.
- Zulkifli, R., Muhandi, & Perdhana, R. (2024). Analysis of Subsurface Geological Structure in Sleman District Based on Gravity Data Anomalies. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 10(2), 162–172.