

Identifikasi Sebaran dan Jenis Sesar Lokal di Sekitar Sesar Waipoga dengan Analisis Anomali Gravitasi

Hafidz Syarifuddin^{(1,a)*} dan Mahmud Yusuf^(1,b)

⁽¹⁾Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Kota Tangerang, Banten, 15119

Email : ^(a)hafidzudin@stmkg.ac.id, ^(b)mahmud.yusuf@bmkgo.id

Diterima (25 April 2024), Direvisi (13 Juni 2024)

Abstract. Nabire Regency is located on the bird's neck of the Papua island with a history of high seismicity. The Waipoga Fault as a major fault was recorded to have caused the Nabire earthquake on November 26, 2004 with a magnitude of 7,2 Mw. Around the Waipoga Fault there is a density contact boundary that is suspected to be a fault. This study aims to identify the presence of suspected faults around the Waipoga Fault using the gravity method. Gravity anomalies contain information about the condition of rocks below the surface so that it can be used to determine the density contact boundary to the fault zone. GGMPlus data is the secondary gravity data used in this study. The results of the analysis of simple bouger anomaly values, residual regional anomalies, and derivative analysis are displayed with the help of surfer software. The anomaly value obtained shows that the Nabire Regency area is dominated by hard rock with a density of 2,7187 grams / cm³. The high density of subsurface constituent rocks results in a dominant positive simple bouger anomaly (SBA) value, with a range of values between -10 mGal to 95 mGal. Based on the results of the FHD (First Horizontal Derivative) and SVD (Second Vertical Derivative) analysis show clear density contact boundaries so that the fault line delineation can be drawn in two parts. Fault A-A' has a northeast-southwest (NE-SW) orientation with an oblique fault mechanism. Fault B-B' has a normal fault mechanism with a meandering fault line oriented northwest-southeast (NW-SE).

Keywords: Gravity anomaly, FHD, SVD, Waipoga Fault.

Abstrak. Kabupaten Nabire berada di bagian leher burung pulau Papua dengan riwayat kegempaan yang cukup tinggi. Sesar Waipoga pernah menyebabkan gempa bumi Nabire pada 26 November 2004 dengan kekuatan 7,2 Mw. Disekitar Sesar Waipoga terdapat batas kontak densitas yang diduga sebagai sesar. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan identifikasi keberadaan dugaan sesar di sekitar Sesar Waipoga dengan metode gaya berat. Anomali gaya berat mengandung informasi mengenai kondisi batuan dibawah permukaan sehingga dapat digunakan untuk menentukan batas kontak densitas hingga zona patahan. Data GGMPlus merupakan data sekunder gaya berat yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil analisis nilai anomali bouger sederhana, anomali regional residual, serta analisa derivative ditampilkan dengan bantuan perangkat lunak surfer. Nilai anomali yang diperoleh menunjukkan bahwa wilayah Kabupaten Nabire didominasi oleh batuan keras dengan densitas 2,7187 gram/cm³. Tingginya densitas batuan penyusun bawah permukaan mengakibatkan nilai anomali bouger sederhana (SBA) dominan positif, dengan rentang nilai antara -10 mGal hingga 95 mGal. Dari hasil analisis FHD (*First Horizontal Derivative*) dan SVD (*Second Vertical Derivative*) menunjukkan batas kontak densitas yang jelas sehingga dapat ditarik delinasi garis sesar pada dua bagian. Sesar A-A' memiliki orientasi sesar arah timur laut-barat daya (NE-SW) dengan mekanisme sesar oblique. Sesar B-B' memiliki mekanisme sesar turun dengan jalur sesar berkelok mengarah barat laut-tenggara (NW-SE).

Kata kunci: Anomali gaya berat, FHD, SVD, Sesar Waipoga.

PENDAHULUAN

Tatanan tektonik wilayah Papua memiliki kondisi yang sangat kompleks dengan aktivitas seismik tinggi. Pertemuan tiga lempeng makro antara Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, Lempeng mikro Filipina dan Lempeng mikro Carolina di utara Papua [1]. Kontak tektonik antarlempeng di Papua juga menjadi penyebab banyaknya zona sesar di sekitarnya [2]. Akumulasi energi akibat adanya aktivitas tektonik pada sesar mengakibatkan adanya proses deformasi berupa pelepasan energi sebagai gempa bumi [3].

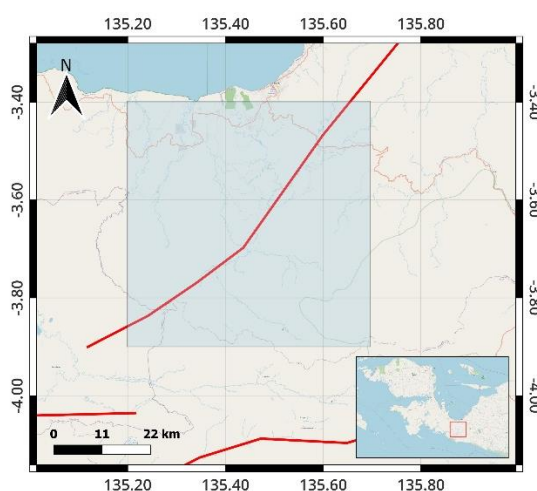
Wilayah pangkal leher burung pada Pulau Papua merupakan salah satu wilayah rawan gempabumi. Pada wilayah Nabire tercatat pernah terjadi gempabumi merusak pada 26 November 2004 dengan gempabumi utama kekuatan 7,1 Mw yang setelahnya diikuti serangkaian gempabumi susulan. Gempa bumi ini disebabkan oleh aktivitas Sesar Waipoga dan menimbulkan kerugian yang sangat besar hingga menelan korban jiwa sebanyak 37 orang serta 600 orang lainnya mengalami luka-luka [4]. Untuk mencegah dampak serupa, perlu dilakukan kajian lanjutan untuk mengkonfirmasi kondisi sesar pada wilayah Nabire.

. Dalam penelitian sebelumnya oleh Bangkit Sudrajat pada 2022 tentang delinasi struktur patahan di wilayah Nabire menyebutkan bahwa terdapat empat titik batas densitas yang bersesuaian dengan dugaan sesar tetapi belum diketahui bagaimana mekanisme pembentukan sesar tersebut [5]. Penelitian kali ini bertujuan melanjutkan hasil penelitian sebelumnya oleh Bangkit Sudrajat pada 2022 [5] untuk mengetahui jalur dan mekanisme dugaan sesar di sekitar Sesar Waipoga menggunakan metode gravitasi. Fokus wilayah penelitian terdapat di Kabupaten Nabire dengan koordinat 135,2°-135,7° BT

dan 3,4°-3,9° LS. Peta wilayah penelitian ditampilkan pada **Gambar 1**.

Metode gravitasi dapat mengidentifikasi kondisi dan karakter struktur bawah permukaan [6]. Perbedaan densitas batuan dengan batuan lain disekitarnya mengakibatkan perbedaan nilai anomali gaya berat, sehingga dapat menggambarkan kondisi batuan dibawah permukaan termasuk sebaran sesar [7].

Pengamatan menggunakan metode gravitasi dapat dilakukan menggunakan data sekunder yang bersumber dari satelit global GGMPlus, sehingga teknis pelaksanaannya cukup mudah dengan biaya yang terjangkau dibandingkan dengan menggunakan data primer hasil pengukuran secara langsung [8]. GGMPlus memiliki data gravitasi dengan resolusi tinggi [9] dan akurat dengan observasi anomali gravitasi secara langsung namun memiliki keterbatasan untuk menggambarkan anomali yang terlalu lokal atau pada struktur yang sangat dangkal di daerah dengan litologi yang kompleks dan topografi tidak rata [10]. Data gaya berat yang didapatkan selanjutnya dianalisis menggunakan metode FHD (*First Horizontal Derivative*) dan SVD (*Second Vertical Derivative*) untuk mengetahui jalur dan mekanisme pergerakan sesar.



Gambar 1. Wilayah Nabire dan sekitarnya dengan garis merah merupakan jalur sesar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data gravitasi dan data topografi. Data gravitasi merupakan data sekunder yang diperoleh dari GGMplus [11]. Data yang diperoleh dari GGMPlus merupakan nilai FAA (*Free Air Anomaly*) dan ketinggian dengan keterangan lintang dan bujur [9]. Data gaya berat yang didapatkan selanjutnya dilakukan analisis menggunakan perangkat lunak microsoft excel untuk mendapatkan nilai koreksi bouger, anomali bouger sederhana, serta densitas rata-rata batuan.

Nilai anomali bouger sederhana atau *Simple Bouger Anomaly* (SBA) dihasilkan melalui pengurangan nilai FAA dengan nilai koreksi bouger. Perhitungan nilai koreksi bouger dan SBA secara matematis digambarkan oleh persamaan berikut[12].

$$BC = 0.04192 \times \rho \times h \quad (1)$$

$$SBA = FAA - BC \quad (2)$$

Dengan keterangan BC = koreksi bouger (mGal), ρ = densitas batuan (g/m^3), h = ketinggian (m), SBA= *Simple Bouger Anomaly* (mGal), dan FAA = *Free Air Anomaly* (mGal)

Densitas rata-rata batuan pada penelitian kali ini ditentukan menggunakan metode parsnis. Perhitungan densitas rata-rata dengan metode parsnis menggunakan persamaan regresi linier dengan sumbu x adalah nilai ketinggian (h) dikalikan 0.04192 dan sumbu y adalah FAA[13].

Nilai SBA perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan anomali residual menggunakan metode *low pass filter* untuk menghilangkan data frekuensi tinggi dan mempertahankan data frekuensi rendah [14]. Dari hasil anomali residual dilakukan analisis turunan gravitasi sehingga mendapatkan nilai FHD (*First Horizontal Derivative*) dan SVD (*Second Vertical Derivative*)[15]. Pengolahan FHD dan SVD dilakukan pada perangkat lunak

surfer. FHD bertujuan untuk menentukan batas struktur geologi yang ditandai dengan adanya anomali berupa nilai maksimum atau minimum FHD [16]. Nilai FHD diperoleh menggunakan persamaan 3.

$$FHD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (3)$$

Sedangkan SVD merupakan turunan dari fungsi harmonik Laplace dengan melakukan substitusi f menjadi Δg . Penentuan nilai SVD pada penelitian kali ini dilakukan menggunakan filter Rosenbach dengan matriks koefisien pada **Tabel 1**.

SVD menggambarkan batas anomali tinggi dan rendah dengan lebih jelas dimana batas struktur geologi ditandai dengan nilai nol [17]. Penghitungan SVD digunakan untuk memunculkan efek yang berasosiasi dengan struktur dangkal sehingga dapat dilakukan interpretasi jenis struktur patahan. Struktur patahan dapat dilihat dari perbandingan nilai anomali maksimum dan minimum [18]. secara matematis digambarkan sebagai berikut :

$$\left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{maks} > \left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{min, \text{sesar turun}} \quad (4)$$

$$\left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{maks} < \left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{min, \text{sesar naik}} \quad (5)$$

$$\left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{maks} \approx \left|\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right|_{min, \text{sesar geser}} \quad (6)$$

Tabel 1. Matriks Rosenbach sebagai filter SVD.

0,0000	+0,0416	0,0000	+0,0416	0,0000
+0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	+0,0416
0,0000	-0,7500	+4,0000	-0,7500	0,0000
+0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	+0,0416
0,0000	+0,0416	0,0000	+0,0416	0,0000

HASIL DAN PEMBAHASAN

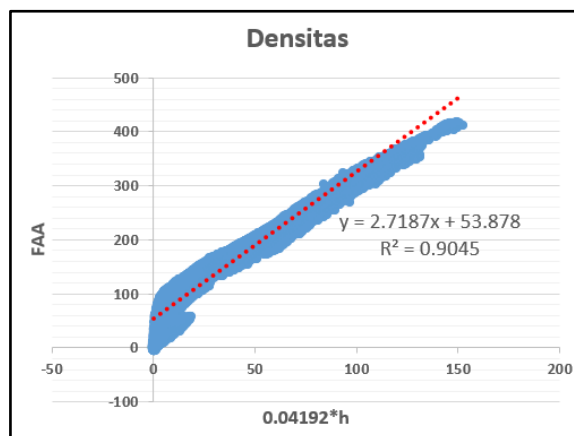
Data FAA yang telah dikombinasikan dengan data topografi dapat dilakukan penghitungan dengan metode parsnis untuk mendapatkan nilai densitas rata-rata. Metode parsnis menghasilkan grafik seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2**. Dari grafik parsnis tersebut didapatkan densitas rata-rata untuk wilayah penelitian sebesar $2,7187 \text{ gram/cm}^3$. Nilai densitas yang didapatkan digunakan untuk mengetahui nilai koreksi bouger menggunakan **Persamaan 1**.

Dari nilai koreksi bouger (BC) dapat dilakukan penghitungan anomali bouger sederhana (SBA) dengan **Persamaan 2**. Sebaran nilai anomali bouger sederhana diinterpretasikan dalam bentuk peta menggunakan software surfer. Peta anomali bouger sederhana ditampilkan pada **Gambar 3**. Anomali bouger sederhana yang dipetakan pada **Gambar 3** menunjukkan kecenderungan anomali positif pada daerah penelitian dengan rentang anomali dari -10 mGal hingga 95 mGal. Nilai SBA rendah berada pada utara dan tenggara ditandai dengan warna biru hingga ungu. Sedangkan wilayah tengah cenderung didominasi warna merah dengan nilai SBA yang tinggi.

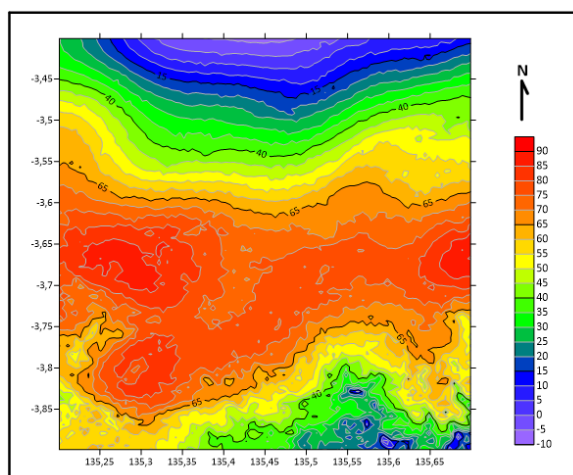
Nilai anomali gravitasi memiliki hubungan yang erat dengan densitas batuan,

anomali gravitasi menindikasikan bahwa batuan bawah permukaan pada wilayah tersebut memiliki densitas yang tinggi, wilayah dengan batuan bawah permukaan dengan densitas rendah juga dicirikan dengan nilai anomali gravitasi yang rendah [19]. Ini menunjukkan bahwa batuan pada wilayah penelitian didominasi oleh batuan dengan densitas tinggi dan terdapat sedikit batuan dengan densitas rendah pada bagian utara yang merupakan wilayah pesisir.

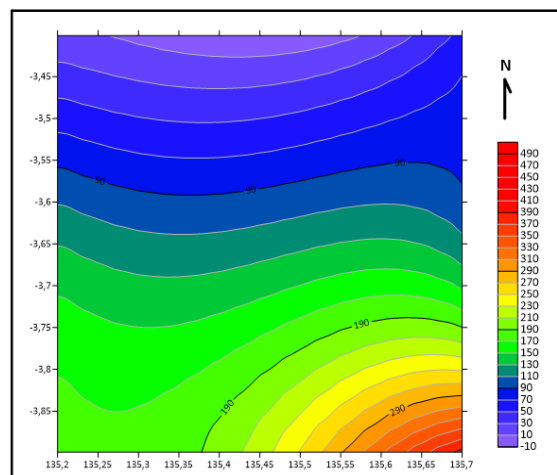
Nilai anomali bouger sederhana menggambarkan seluruh anomali bawah permukaan, termasuk pengaruh anomali kedalaman. Sebelum identifikasi struktur geologis lebih lanjut perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan anomali residual. Anomali regional didapatkan dengan melakukan pemisahan anomali menggunakan metode polinomial dan didapatkan bahwa pemisahan anomali regional orde 5 memiliki hasil yang paling jelas. **Gambar 4** menampilkan peta anomali regional dengan sebaran nilai -10 mGal hingga 490 mGal. Anomali rendah dibagian utara merupakan kerak samudera yang didominasi batu gamping dan sedimen laut, sedangkan anomali tinggi di bagian selatan merupakan geologi jalur peralihan yang didominasi batuan ofiolit [5].



Gambar 2. Densitas rata-rata batuan di Nabire yang dihitung dengan metode parsnis.



Gambar 3. Peta anomali bouger sederhana (*Simple Bouguer Anomaly*) atau SBA pada wilayah penelitian.



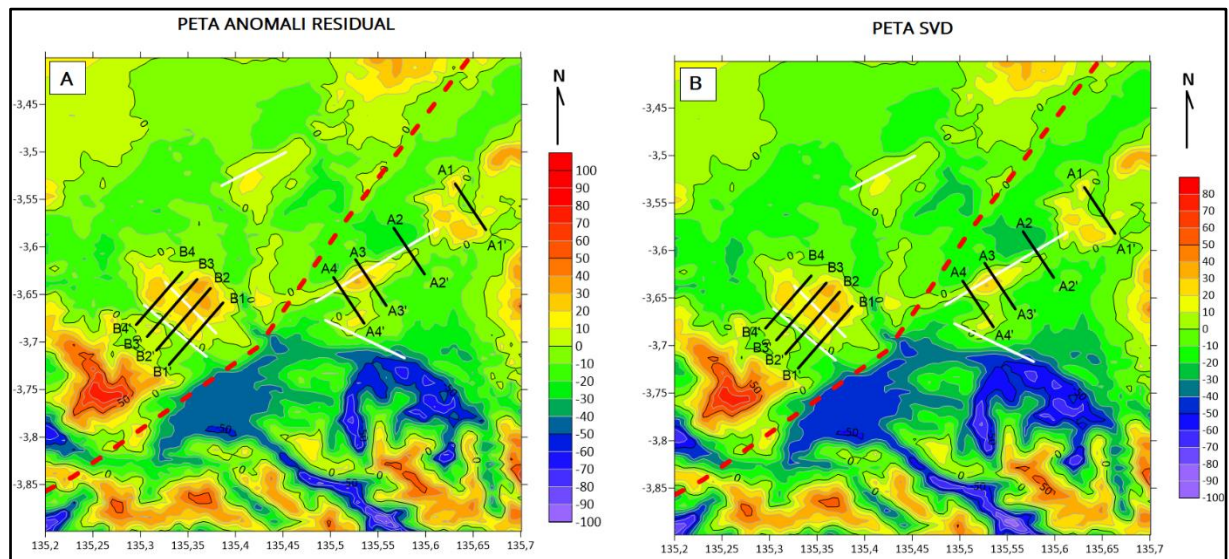
Gambar 4. Peta anomali regional pada wilayah penelitian.

Pengurangan nilai anomali bouger sederhana dengan anomali regional akan menghasilkan anomali residual. Anomali residual akan menunjukkan hasil yang lebih kompleks karena merupakan anomali dari benda dangkal. Sebaran anomali residual menunjukkan anomali yang lebih kompleks yang merupakan dampak dari anomali benda dangkal yang lebih heterogen. Anomali residual memiliki informasi tentang kondisi geologi bawah permukaan termasuk zona batas kontak densitas. Zona batas densitas dapat ditentukan dengan melakukan analisis pada nilai anomali residual dengan metode FHD menggunakan **Persamaan 3** pada daerah yang memiliki nilai anomali sangat signifikan [20].

Untuk memastikan daerah batas kontak densitas, dilakukan analisis berupa turunan kedua vertikal atau SVD. Nilai SVD diperoleh dari hasil filter anomali residual, pada penelitian ini dilakukan dengan filter matriks Rosenbach. Peta sebaran anomali residual untuk mendapatkan FHD dan peta sebaran SVD dengan overlay delinasi batas kontak densitas dari penelitian sebelumnya [5] ditampilkan pada **Gambar 5**. Peta anomali residual pada **Gambar 5** menunjukkan dominasi warna hijau dengan

rentang nilai -30 mGal hingga 10 mGal dibagian utara dan dominasi warna biru dibagian selatan dengan rentang nilai -100 mGal hingga -40 mGal. Hal ini menandakan bahwa pada lapisan tanah dangkal wilayah utara didominasi batuan dengan densitas tinggi dan wilayah selatan didominasi batuan dengan densitas rendah [21].

Penentuan sayatan untuk melakukan analisis FHD dan SVD didasarkan pada batas kontak densitas dari penelitian sebelumnya serta pertimbangan daerah dengan kontras nilai anomali yang signifikan [5]. Dari hasil analisis peta anomali residual dan peta SVD pada **Gambar 5** terdapat dua daerah yang memiliki nilai anomali yaitu dibagian timur dan barat sesar Waipoga, sehingga dilakukan delapan sayatan yang terdiri dari empat sayatan setiap bagiannya. Pada bagian timur Sesar Waipoga terdapat sayatan A1-A1', A2-A2', A3-A3', dan A4-A4'. Pada bagian barat Sesar Waipoga terdapat sayatan B1-B1', B2-B2', B3-B3', dan B4-B4'.

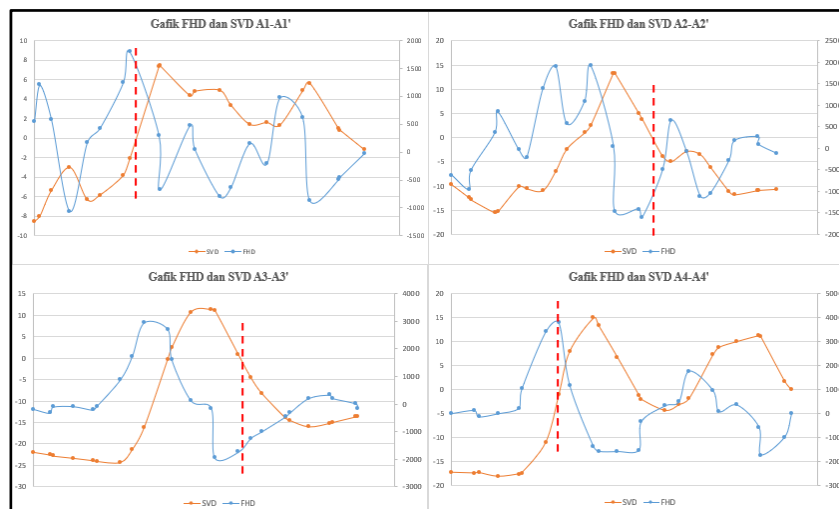


Gambar 5. Peta anomali residual untuk analisis FHD dan peta SVD dengan overlay delinasi batas kontak densitas dari penelitian sebelumnya [5]. Garis putih merupakan batas kontak densitas yang didapatkan dari penelitian sebelumnya, garis merah putus-putus merupakan jalur Sesar Waipoga, dan garis hitam adalah sayatan yang diambil untuk melakukan analisis FHD dan SVD.

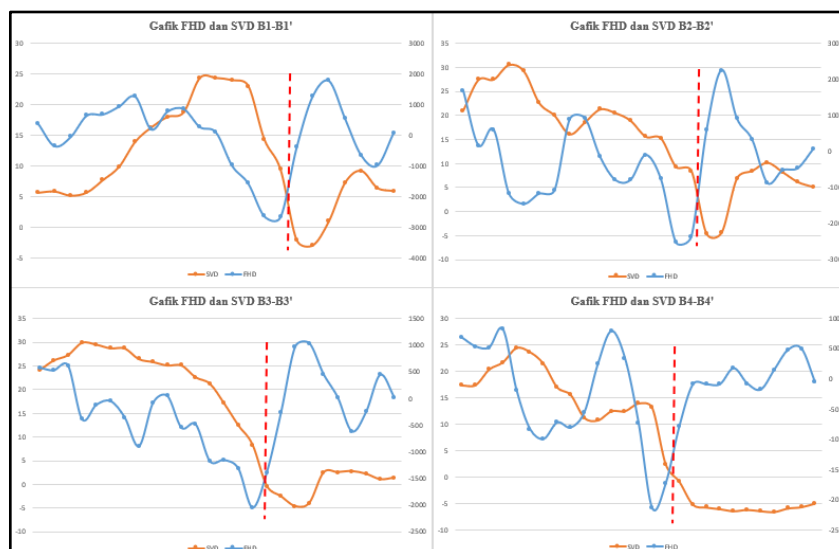
Pengambilan sayatan ini dilakukan pada peta anomali residual dan peta SVD, data jarak dan ketinggian yang diperoleh pada anomali residual dilakukan perhitungan dengan **Persamaan 3** untuk mendapatkan nilai FHD. Nilai FHD dan SVD yang didapatkan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik FHD dan SVD setiap irisan. Analisis grafik FHD dan SVD secara bersamaan bertujuan untuk lebih memperjelas adanya kontras densitas yang mengindikasikan adanya sesar. Dugaan sesar yang berada diantara nilai minimum dan maksimum pada FHD yang juga diperkuat dengan nilai nol pada SVD.

Kontras densitas terlihat jelas pada grafik setiap irisan yang ditampilkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.

Analisis nilai puncak FHD dan nilai nol SVD **Gambar 6** dan **Gambar 7** menunjukkan adanya batas kontak densitas sebagai jalur sesar ditandai dengan garis merah putus putus pada setiap irisan. Analisis lanjutan untuk mengetahui jenis mekanisme sesar dilakukan dengan membandingkan nilai SVD maksimum dan minimum. Koordinat batas kontak densitas dan analisis nilai SVD ditampilkan pada **Tabel 2**.



Gambar 6. Grafik FHD dan SVD pada segmen A.



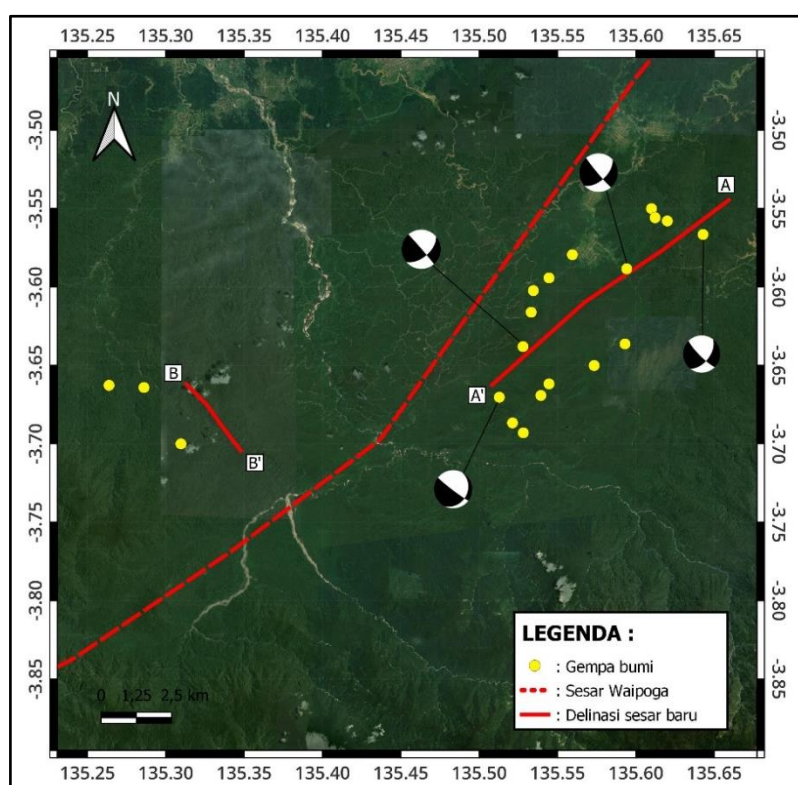
Gambar 7. Grafik FHD dan SVD pada segmen A.

Perbandingan nilai mutlak SVD maksimal dan minimal pada semua irisan menunjukkan pada sayatan A2-A2', A3-A3', A4-A4' memiliki nilai minimum lebih besar daripada nilai maksimum, sedangkan pada sayatan A1-A1' memiliki nilai yang hampir mendekati pada sayatan A dikategorikan sebagai sesar oblique. Pada sayatan B1-B1', B2-B2', B3-B3', dan B4-B4' keseluruhannya memiliki nilai maksimum yang lebih besar dari nilai minimum sehingga pada sayatan B dikategorikan sebagai sesar turun.

Koordinat yang ditampilkan pada **Tabel 2**. Merupakan koordinat jalur sesar yang didapatkan dari analisis FHD dan SVD. Untuk mendapatkan gambaran jalur sesar serta mengkonfirmasi keberadaan serta mekanisme pergerakan sesar dari penelitian ini, dilakukan plotting jalur sesar dengan kejadian gempa bumi serta mekanisme focal di sekitar jalur sesar untuk kejadian gempabumi dengan kekuatan diatas 4 Magnitudo pada rentang waktu 2004 hingga 2024 yang ditampilkan pada **Gambar 8**.

Tabel 2. Koodinat Batas Kontak Densitas Dan Analisis Nilai SVD.

Irisan	Batas Kontak Densitas		Nilai SVD		Jenis Sesar
	Bujur	Lintang	Maks	Min	
A1-A1'	135,659	-3,545	7,457169	-8,6805	Sesar Geser
A2-A2'	135,618	-3,577	13,34194	-15,262	Sesar Naik
A3-A3'	135,567	-3,609	11,27016	-24,2287	Sesar Naik
A4-A4'	135,508	-3,662	14,98151	-18,1852	Sesar Naik
B1-B1'	135,556	-3,854	24,3657	-2,9265	Sesar Turun
B2-B2'	135,508	-3,826	30,6130	-4,6719	Sesar Turun
B3-B3'	135,442	-3,831	29,9794	-4,6652	Sesar Turun
B4-B4'	135,407	-3,810	24,4075	-6,4533	Sesar Turun



Gambar 8. Delinasi sesar lokal sekitar Sesar Waipoga.

Delinasi dari sesar A-A' memperlihatkan sesar mengarah ke timur laut-barat daya (NE-SW) dengan mekanisme sesar oblique yaitu geser dan naik dapat dibuktikan dengan mekanisme fokal dari gempa bumi yang terjadi di sekitar jalur sesar. Sedangkan delinasi dari sesar B-B' menunjukkan sesar yang berkelok dengan arah barat laut-tenggara (NW-SE) dapat dibuktikan dari kejadian gempabumi di sekitar jalur sesar namun belum diketahui bagaimana mekanisme

fokal dari gempabumi tersebut. Temuan dua jalur sesar dengan arah dan mekanisme peregerakan yang berbeda ini membuktikan pendapat dari penelitian sebelumnya oleh Bangkit Suudrajat tentang delinasi sesar di wilayah Nabire dimana ditemukan adanya 31 batas kontak densitas di sekitar Sesar Waipoga yang mengindikasikan adanya sesar-sesar kecil di sekitar Sesar Waipoga dengan sebaran yang acak [5].

KESIMPULAN

Wilayah Kabupaten Nabire didominasi oleh batuan keras dengan densitas rata-rata $2,7187 \text{ gr/cm}^3$. Dominasi batuan keras tersebut mengakibatkan tingginya nilai anomali bouger sederhana (SBA) pada wilayah Kabupaten Nabire. Analisis *First Horizontal Derivative* dan *Second Vertical Derivative* menemukan adanya dua sesar minor di dekat Sesar Waipoga. Pada bagian timur Sesar Waipago terdapat sesar A-A' mengarah timur laut-barat daya (NE-SW) dengan mekanisme sesar oblique. Pada bagian barat Sesar Waipago terdapat sesar B-B' dengan mekanisme sesar turun yang mengarah barat laut-tenggara (NW-SE).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan geofane yang terlibat dalam penulisan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Puntodewo dkk., "GPS measurements of crustal deformation within the Pacific-Australia plate boundary zone in Irian Jaya, Indonesia," *Tectonophysics*, vol. 237, hlm. 141–153, 1994.
- [2] Pusat Studi Gempabumi Nasional, "Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa," 2022.
- [3] A. J. Barber, M. J. Crow, dan M. E. M. De Smet, *Tectonic Evolution*, vol. Chapter 14. 2005. [Daring]. Tersedia pada: <http://mem.lyellcollection.org/>
- [4] G. P. Hayes dkk., "Tectonic Summaries of Magnitude 7 and Greater Earthquakes from 2000 to 2015," 2016. doi: 10.3133/ofr20161192.
- [5] B. Sudrajad, "Delineasi Struktur Patahan di Wilayah Kabupaten Nabire Papua Menggunakan Analisis Horizontal Derivatif Orde Pertama (FHD) dan Orde Kedua (SHD) Berdasarkan Data Anomali Gravitasi," *Jurnal Fisika Papua*, vol. 1, no. 2, hlm. 37–45, Agu 2022, doi: 10.31957/jfp.v1i2.5.
- [6] V. C. F. Barbosa, P. T. L. Menezes, dan J. B. C. Silva, "Gravity Data as a Tool for Detecting faults: In-depth Enhancement of Subtle Almada's Basement Faults, Brazil," *Geophysics*, vol. 72, no. 3, hlm. 59–68, 2007, doi: 10.1190/1.2713226.
- [7] M. F. R. Hasan dkk., "Analysis of Existence and Faults Impact on Geological Disasters Using GGMPlus Data," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1321/1/012003.
- [8] M. Yanis dan N. Ismail, "Efficient Use of Satellite Gravity Anomalies for mapping the Great Sumatran Fault in Aceh Province," *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 9, no. 2, hlm. 2089–2133, 2019.
- [9] C. Hirt, S. Claessens, T. Fecher, M. Kuhn, R. Pail, dan M. Rexer, "New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field," *Geophys Res Lett*, vol. 40, no. 16, hlm. 4279–4283, Agu 2013, doi: 10.1002/grl.50838.

- [10] B. Sudrajad, "Analisis Deskriptif Perbandingan Data Sekunder Gravitasi GGMplus Terhadap Data Gravitasi Lapangan Panas Bumi Gunung Lawu dan Data Gravitasi Stasiun Referensi (gravity base station) di Pulau Papua," *Jurnal Fisika Papua*, vol. 2, no. 1, hlm. 25–34, Feb 2023, doi: 10.31957/jfp.v2i1.22.
- [11] Curtin University, "GGMplus Gravity Data (caltech.edu)," The Murray Lab. Diakses: 24 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/index.html>
- [12] R. Margiono, A. Novitri, A. Pevriadi, dan H. Zakariya, "Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Sesar Lokal Penyebab Gempabumi di Wilayah Barat Daya Sumba Indonesia," *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, vol. 22, no. 1, hlm. 67–73, 2021, [Daring]. Tersedia pada: https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi
- [13] D. S. Parasnis, *Principles of applied geophysics*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [14] D. S. Fitriani, S. Nur, A. Putri, dan I. Fauzan Putrajy, "METODE GRAVITASI UNTUK IDENTIFIKASI SESAR WELUKI DENGAN ANALISIS FIRST HORIZONTAL DERIVATIVE DAN SECOND VERTICAL DERIVATIVE," *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*, vol. 9, 2020, doi: 10.21009/03.SNF2020.
- [15] H. A. Azkia dan Y. Daud, "Integrated geophysical and geological methods to identify structure existence as a permeable zone in a geothermal field," dalam *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Mar 2021. doi: 10.1063/5.0038802.
- [16] M. S. Rosid dan F. Jaidi, "Identification of geological structure in Bekasi city using MS-SVD method gravity data," dalam *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Sep 2020. doi: 10.1063/5.0014650.
- [17] K. N. Aziz, E. Hartantyo, dan S. W. Niasari, "The Study of Fault Lineament Pattern of the Lamongan Volcanic Field Using Gravity Data," dalam *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Mei 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1011/1/012025.
- [18] B. A. Sadjab dkk., "Identifikasi sebaran dan Jenis Sesar Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi Topex Provinsi Maluku Utara Lembar Pulau Halmahera Utara," *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, vol. 19, no. 2, hlm. 135, Jun 2022, doi: 10.20527/flux.v19i2.9616.
- [19] E. W. Syaputra, R. Refrizon, dan H. Zakariya, "Identifikasi Sesar Segmen Ketahun Berdasarkan Metode First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD) Data Anomali Gaya Berat GGMplus," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 12, no. 4, hlm. 598–607, Okt 2023, doi: 10.25077/jfu.12.4.598-607.2023.
- [20] A. K. Maimuna dkk., "Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan

- Metode SVD dan Pemodelan 3D-Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi Tengah,” *Jurnal Geofisika*, vol. 19, no. 01, hlm. 17–23, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://topex.ucsd>.
- [21] B. Sudrajat, “PEMODELAN INVERSI TIGA DIMENSI (3D) STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN KELOMPOK BATUAN OFIOLIT DI DISTRIK UWAPA, KABUPATEN NABIRE, PAPUA, SEBAGAI REFERENSI POTENSI SUMBERDAYA MINERAL BERDASARKAN DATA ANOMALI GRAVITASI GGMPLUS,” *Prosiding Seminar Nasional MIPA UNIPA*, hlm. 109–116, Jun 2022, doi: 10.30862/psnmu.v7i1.16.

