

## STUDI PEMETAAN SESAR REMBANG-MADURA-KANGEAN-SAKALA (RMKS) DENGAN DATA GAYA BERAT MENGGUNAKAN ANALISIS TURUNAN

Daffa Andhika Pramadhana<sup>1</sup>, Binar Haafizh P. P. Putra<sup>1</sup>, Muhammad Syirojudin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

<sup>2</sup>Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

e-mail : daffaandhika@stmkg.ac.id

**Abstrak.** Pulau Jawa dan Madura merupakan pulau yang memiliki aktivitas tektonik yang aktif akibat adanya keberadaan sesar-sesar aktif. Sesar aktif tersebut perlu dipetakan, salah satu yang perlu dipetakan lebih lanjut adalah Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS). Metode yang digunakan dalam pemetaan Sesar RMKS adalah metode gaya berat yang diperoleh dari laman Murray GGMPlus. Dalam pengolahan data gaya berat tersebut ada beberapa langkah yang harus dilakukan seperti penentuan nilai densitas rata-rata dengan metode Nettleton, penentuan nilai *Simple Bouger Anomaly* (SBA), pemisahan anomali regional dan residual, analisis turunan nilai anomali regional dengan metode FHD (*First Horizontal Derivative*) dan SVD (*Second Vertical Derivative*). Nilai densitas rata-rata yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 2,6 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai tersebut digunakan dalam tahapan selanjutnya. Hasil dari penelitian ini, menunjukkan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme berupa sesar normal. Namun, menimbang beberapa sumber lain yang menyebutkan Sesar RMKS memiliki mekanisme berupa sesar geser mengiri, maka dapat disimpulkan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme *oblique* dengan pengaruh sesar normal.

**Kata Kunci:** Analisis Turunan; First Horizontal Derivative; Gaya Berat; Second Vertical Derivative; Sesar RMKS

**Abstract.** Java and Madura islands have active tectonic activity due to the presence of active faults. These active faults need to be mapped, one of which is the Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) Fault. The method used in mapping the RMKS Fault is the gravity method obtained from the Murray GGMPlus website. In processing the gravity data, there are several steps that must be taken such as determining the average density value with the Nettleton method, determining the Simple Bouger Anomaly (SBA) value, separating regional and residual anomalies, analyzing the derivative of regional anomaly values with the FHD (First Horizontal Derivative) and SVD (Second Vertical Derivative) methods. The average density value used in this study is 2.6 gr/cm<sup>3</sup>. This value is used in the next stage. The results of this study show that the RMKS Fault has a normal fault mechanism. However, considering some other sources that mention the RMKS Fault has a mechanism of sinistral slip fault, it can be concluded that the RMKS Fault has an oblique mechanism with the influence of normal fault.

**Keywords:** Derivative Analysis; First Horizontal Derivative; Gravity; Second Vertical Derivative; RMKS Fault

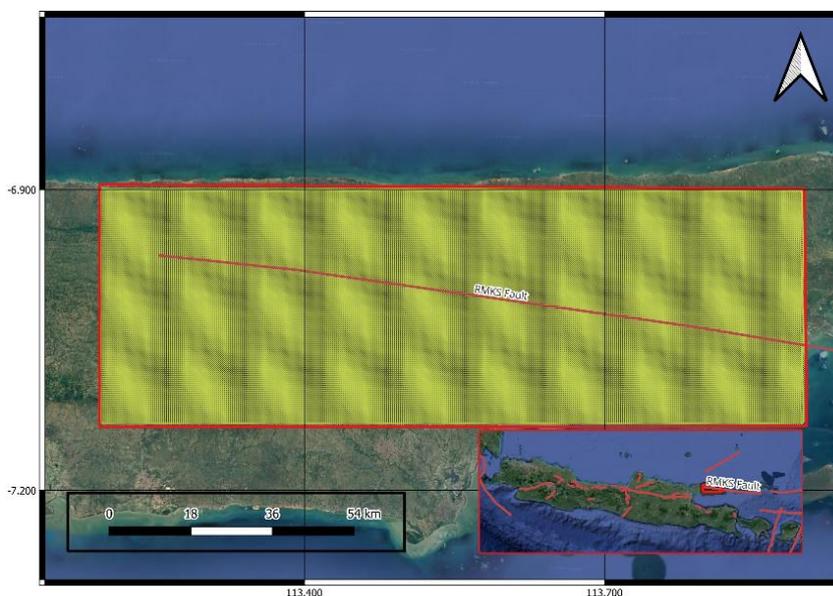
## PENDAHULUAN

Madura sebagai salah satu bagian dari Pulau Jawa memiliki beberapa sesar sebagai hasil dari gaya akibat subduksi Lempeng Eurasia dan Australia yang berada di selatan Pulau Jawa (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Salah satu penyebab aktivitas tektonik di Pulau Jawa dan Madura sangat aktif adalah keberadaan sesar-sesar aktif, seperti Sesar Baribis-Kendeng, Cimandiri, Opak, Bawean, Sesar RMKS dll. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Salah satu sesar yang perlu dipetakan lebih lanjut adalah Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS). Sesar RMKS sebagian besar terletak di Pulau Madura memiliki struktur geologi yang sangat menarik, dikarenakan pada pulau ini sangat dipengaruhi oleh interaksi 2 lempeng besar yaitu Indo-Australia dan Eurasia. Interaksi inilah yang menyebabkan terbentuknya sesar (Prasetyadi, 2023), salah satu sesar yang berpengaruh besar dalam geologi Pulau Madura yaitu sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS). Sesar RMKS merupakan sesar geser mengiri (*sinistral strike slip*) yang berada di Laut Jawa, tepatnya di utara Pulau Madura dan selatan Pulau Bawean dengan panjang 1200 km, *strike* tenggara, dan *dip* 90° (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017; Prasetyadi, 2023).

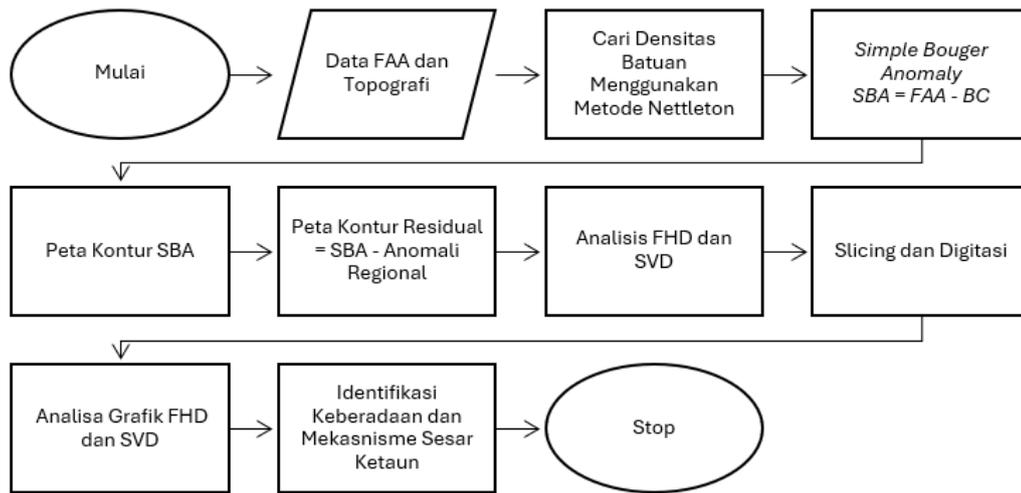
Metode yang dipakai untuk identifikasi Sesar RMKS adalah metode gaya berat. Metode gravitasi adalah metode geofisika yang memanfaatkan data nilai variasi besaran gaya berat bumi, baik data gaya berat pengukuran langsung (data primer/observasi) maupun data gaya berat yang bersumber dari satelit (Nafian dkk., 2021). Metode ini dapat digunakan untuk mempelajari struktur bawah permukaan bumi yang memiliki densitas lebih besar atau lebih rendah dari densitas batuan sekitarnya (Telford dkk., 1991). Metode gravitasi juga mendeteksi struktur bawah permukaan berdasarkan perbedaan kedalaman dari struktur yang diteliti (Menurut Hinze dkk (2012), metode gravitasi merupakan metode yang murah, cepat, dan relatif simpel. Pada penelitian pemetaan Sesar RMKS menggunakan data gaya berat untuk mengetahui mekanisme Sesar RMKS dengan metode analisis turunan berupa *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD).

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari [GGMplus Gravity Data \(caltech.edu\)](https://gdmr.caltech.edu/). Batas wilayah yang digunakan pada penelitian berada pada 6,96454 hingga 7,05404 LS dan 113,25416 hingga 113,89796 BT yang sesuai dengan Gambar 1. Data yang didapatkan dari GGMPLUS berupa posisi *latitude*, *longitude*, dan *Free Air Anomaly* (FAA) (Hirt dkk., 2013). Data topografi diperoleh dari aplikasi Qgis dengan memadukan data GGMPLUS dan DEM Provinsi Jawa Timur yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG).



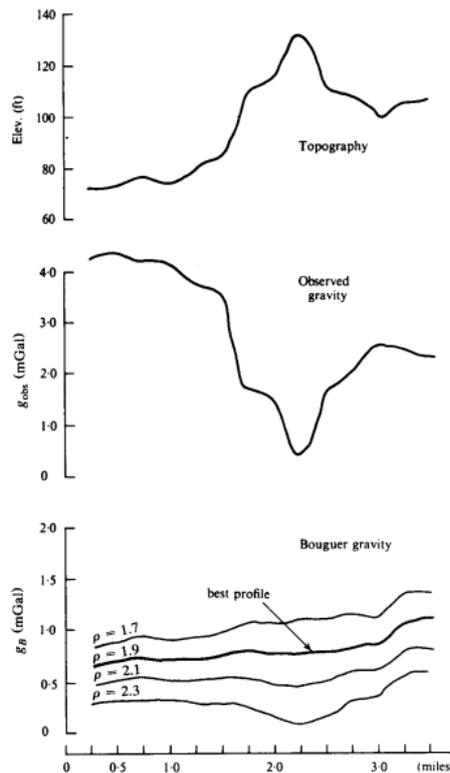
Gambar 1. Batas Wilayah Penelitian Sesar RMKS



**Gambar 2.** Diagram Alir untuk Pengolahan Data Gravitasi

Secara umum, tahapan pengolahan data gaya berat tercantum pada Gambar 2. Proses awal ialah penentuan nilai densitas rata-rata dari batas wilayah penelitian yang telah ditetapkan melibatkan metode Nettleton dimana metode ini menentukan nilai densitas rata-rata batuan menggunakan profil gravitasi dengan topografi yang tidak berkorelasi dengan variasi densitas (Nettleton, 1976).

Pada perhitungan densitas rata-rata dengan metode Nettleton menggunakan nilai perkiraan densitas batuan pada rentang 1 hingga 3 gr/cm<sup>3</sup>. Rentang perkiraan nilai densitas batuan tersebut Nilai densitas rata-rata yang dipilih merupakan nilai densitas yang dapat mengurangi efek topografi seperti yang tercantum pada Gambar 3. (Telford dkk, 1991).



**Gambar 3.** Penentuan Nilai Densitas Rata-Rata dengan Metode Nettleton (Telford dkk., 1991)

Data FAA dan topografi dapat diolah menggunakan software Microsoft Excel, sehingga dapat menghasilkan nilai densitas rata-rata, koreksi Bouger, dan SBA. Untuk mencari nilai FAA dapat dicari menggunakan persamaan (1)

$$FAA = 0,04192 \times \rho_0 \times h + \Delta g \tag{1}$$

Langkah berikutnya mencari *Simple Bouger Anomaly* (SBA) dengan cara nilai FAA di kurangi dengan koreksi bouger. Berdasarkan Persamaan 2, koreksi bouger (BC) berfungsi untuk menghilangkan efek batuan yang terdapat pada stasiun pengukuran dengan bidang geoid (Rachmawati dkk, 2019). Nilai SBA dapat dicari dengan cara Persamaan 3.

$$BC = 0,04192 \times \rho_0 \times h \tag{2}$$

$$SBA = FAA - BC \tag{3}$$

Pengolahan nilai SBA pada penelitian ini menggunakan *software* Surfer. Penggunaan nilai SBA dalam penelitian ini dinilai cukup dikarenakan di wilayah Pulau Madura memiliki kontur topografi yang cenderung rata tanpa adanya perbedaan topografi yang signifikan. Kemudian dilanjutkan dengan mencari anomali regional menggunakan *low-pass* filter. Filter ini berfungsi untuk menghilangkan data berfrekuensi tinggi dan hanya meloloskan data frekuensi rendah, sehingga didapatkan anomali regional. Pengolahan selanjutnya adalah anomali residual, dengan cara mengurangkan nilai SBA dengan anomali regional. Pada *software* Surfer pengolahan ini dilakukan menggunakan fitur “Math” dengan memilih fungsi A-B, Dimana A mewakili SBA dan B mewakili anomali regional. Kedua anomali tersebut digunakan untuk menggambarkan anomali bawah permukaan yang lebih jelas berdasarkan kedalaman dari anomali densitas tersebut (Telford, 1991). Pemisahan anomali bawah permukaan diperlukan karena dalam analisis turunan menggunakan metode SVD sensitif terhadap anomali dan untuk menemukan struktur sesuai kedalaman yang dimiliki (Tsuboi dkk, 1952; Alhassan dkk, 2022 ).

Anomali regional yang sudah didapat akan dianalisis lebih lanjut dengan FHD dan SVD yang bertujuan untuk melihat struktur patahan. Dalam penentuan mekanisme sesar, penggunaan analisis SVD digunakan dalam menginterpretasi sumber anomali, sehingga sangat tepat untuk memetakan struktur geologi (Maimuna dkk, 2021). Analisis FHD berfungsi untuk melihat batas kontras densitas secara horizontal. Dimana kontras FHD pada nilai maksimum berfungsi untuk mengetahui letak keberadaan sesar.

Analisis SVD dicari dengan cara operasi matrix, penelitian ini memilih filter matrix Elkins pada Tabel 1. SVD sendiri merupakan turunan dari FHD, yang berfungsi untuk mengetahui mekanisme patahan sesar dan sebagai pembanding keberadaan sesar. Dimana identifikasi keberadaan sesar dapat ditentukan ketika nilai grafik FHD maksimum dan bertepatan saat nilai SVD nol.

**Tabel 1.** Matrix Elkins (1951) sebagai filter SVD (5x5)

Elkins (1951)				
0	-0.0833	0	-0.0833	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0334	1.0688	-0.0334	0
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0	-0.0833	0	-0.0833	0

Mekanisme patahan sesar pada nilai SVD dapat diidentifikasi melalui kriteria pada Persamaan 9 (Wahyudi dkk, 2017).

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}_{maks} > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right|_{min} \quad \text{Sesar Normal}$$

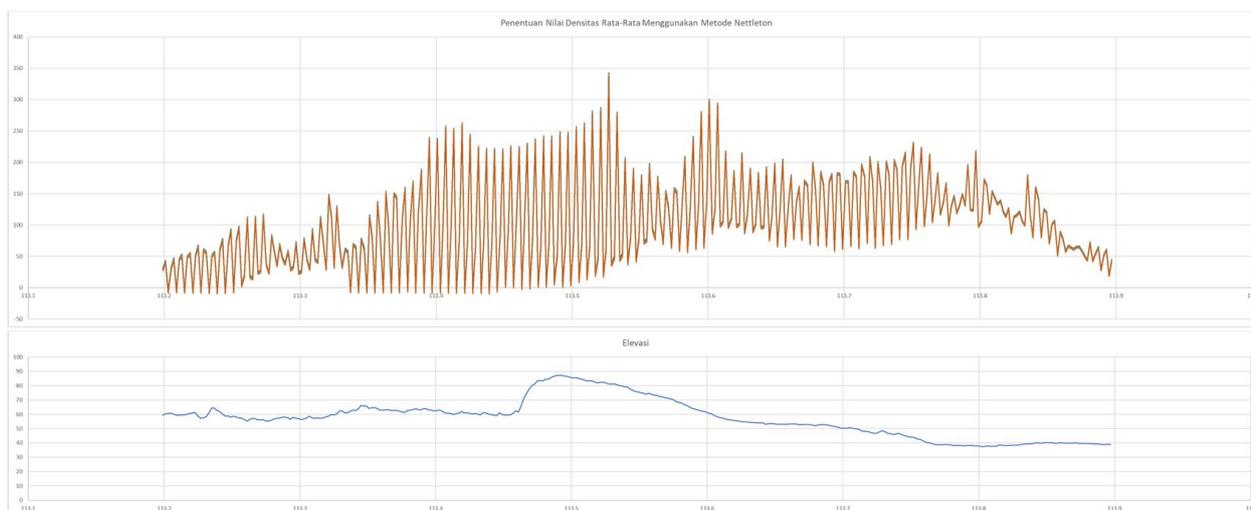
$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}_{maks} < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right|_{min} \quad \text{Sesar Naik}$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}_{maks} \approx \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right|_{min} \quad \text{Sesar Geser} \quad (9)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Densitas Rata-Rata

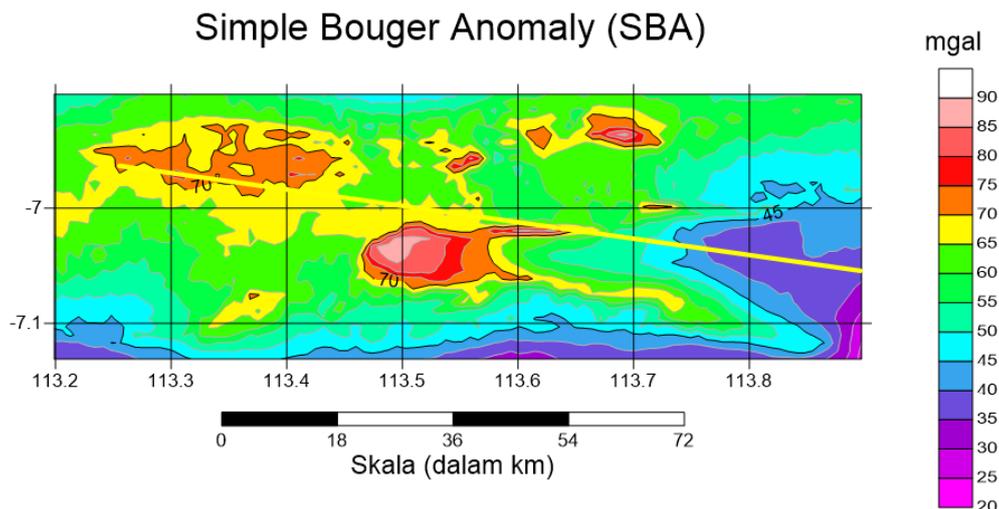
Untuk dapat memetakan Sesar RMKS diperlukan penentuan nilai densitas rata-rata batuan di wilayah penelitian yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini digunakan metode Nettleton untuk menentukan nilai densitas rata-rata batuan. Berdasarkan pada Gambar 4, didapatkan bahwa nilai densitas rata-rata batuan di wilayah Sesar RMKS sebesar 2,6 gr/cm<sup>3</sup>.



**Gambar 4.** Penentuan Nilai Densitas Rata-Rata Batuan dengan Metode Nettleton

### Simple Bouger Anomaly (SBA)

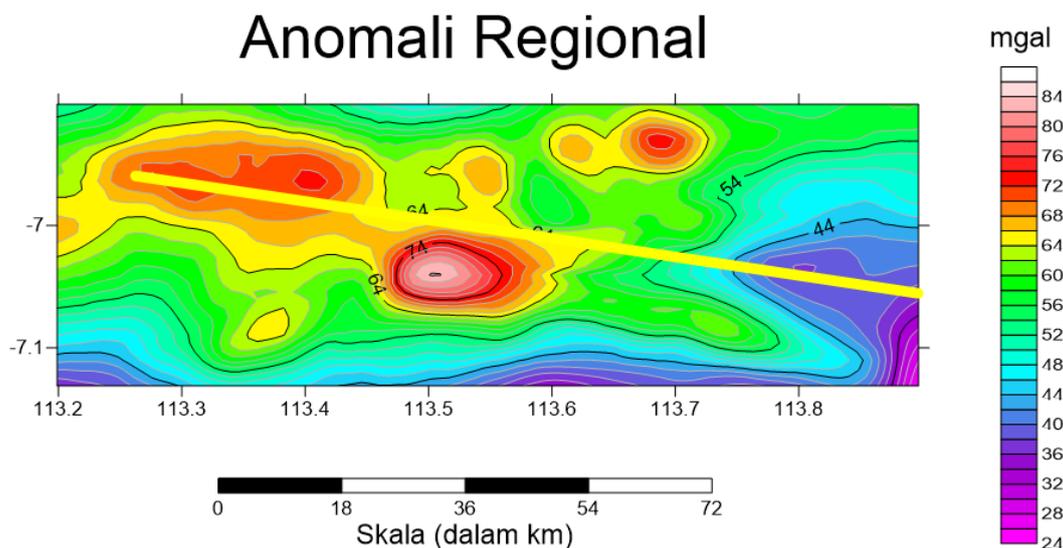
Pada perhitungan nilai SBA (*Simple Bouger Anomaly*), digunakan nilai densitas rata-rata sebesar 2,6 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil nilai SBA yang didapatkan memiliki rentang nilai sebesar 20-90 mgal. Berdasarkan Gambar 5, didapatkan peta SBA yang terlihat adanya anomali nilai SBA yang tinggi dengan rentang nilai 65-90 mgal di selatan dan utara garis dugaan Sesar RMKS yang ditunjukkan dengan garis warna kuning.



**Gambar 5.** Peta SBA di Wilayah Penelitian Dugaan Sesar RMKS

### Pemisahan Anomali Regional

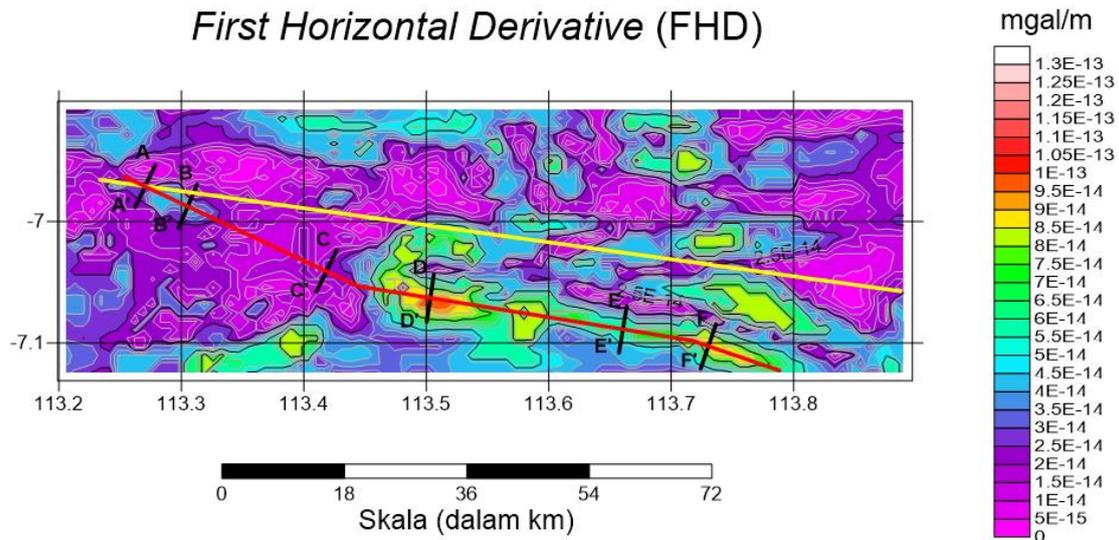
Setelah didapatkan nilai SBA, dilakukan pemisahan anomali regional dan residual untuk mendapatkan struktur geologi berupa sesar. Penggunaan anomali regional dalam pemetaan Sesar RMKS dikarenakan anomali regional dapat memetakan struktur geologi yang memiliki riwayat kegempaan kurang aktif dan berada pada kedalaman yang jauh dari permukaan bumi. Berdasarkan pada Gambar 6, didapatkan anomali regional penelitian Sesar RMKS yang merepresentasikan keberadaan struktur Sesar RMKS menurut Pusgen yang ditunjukkan dengan warna kuning.



**Gambar 6.** Anomali Regional di Wilayah Penelitian Sesar RMKS

### Analisis FHD (*First Horizontal Derivative*)

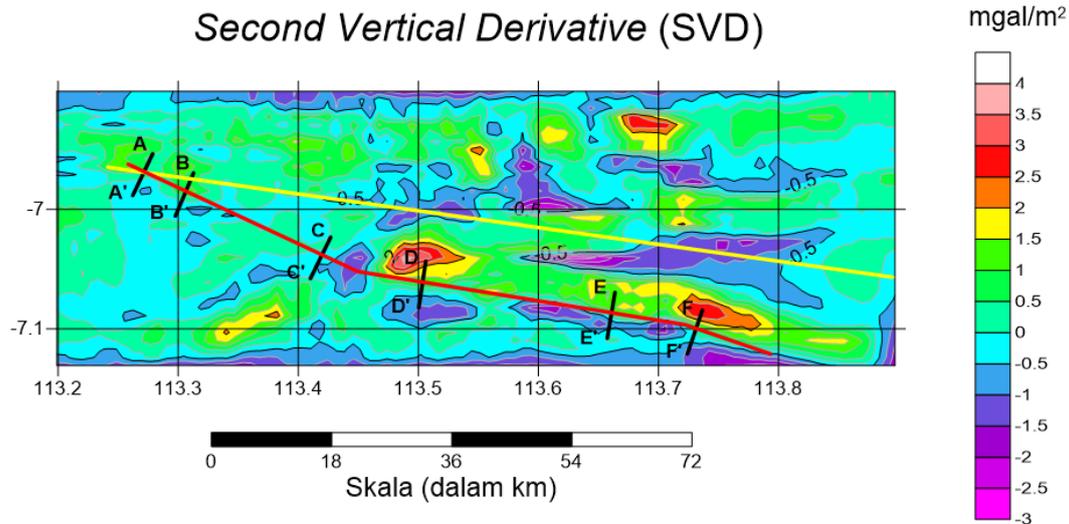
Nilai anomali regional yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan turunan FHD (*First Horizontal Derivative*) dan SVD (*Second Vertical Derivative*). Analisis turunan FHD digunakan untuk menentukan garis *strike* dari dugaan sesar, sedangkan analisis turunan SVD digunakan untuk menentukan mekanisme dugaan sesar. Berdasarkan Gambar 7, nilai FHD yang didapatkan dari nilai anomali regional menunjukkan bahwa Sesar RMKS memiliki garis dugaan sesar yang tidak lurus sempurna ditandai dengan warna merah. Hal ini tidak jauh berbeda dengan dugaan Sesar RMKS menurut Pusgen yang ditandai dengan garis berwarna kuning.



**Gambar 7.** Peta Nilai FHD di Wilayah Penelitian Sesar RMKS

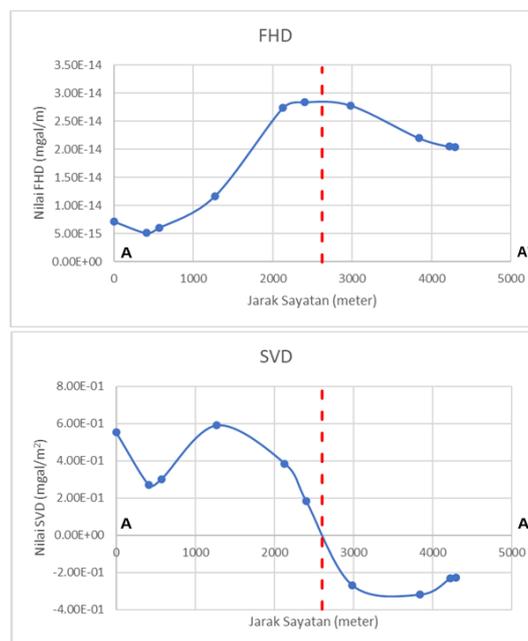
### Analisis SVD (*Second Vertical Derivative*)

Nilai anomali regional lalu diolah dengan analisis turunan SVD untuk menentukan mekanisme Sesar RMKS. Pada penentuan mekanisme sesar dengan analisis turunan SVD terdapat beberapa indikator pada grafik yang harus diperhatikan. Apabila nilai SVD maksimum (berada pada sumbu Y positif) lebih besar daripada nilai SVD minimum (berada pada sumbu Y negatif), maka memiliki indikasi berupa sesar normal. Lalu, jika nilai SVD minimum lebih besar daripada nilai SVD maksimum, maka diduga berupa sesar naik. Kemudian, jika nilai SVD maksimum dan nilai SVD maksimum sama besar, maka diduga berupa sesar geser. Berdasarkan Gambar 8, didapatkan garis dugaan Sesar RMKS yang ditandai dengan nilai SVD sebesar 0. Garis dugaan Sesar RMKS yang didapat pada peta SVD sama dengan garis dugaan Sesar RMKS yang didapat dari peta FHD.



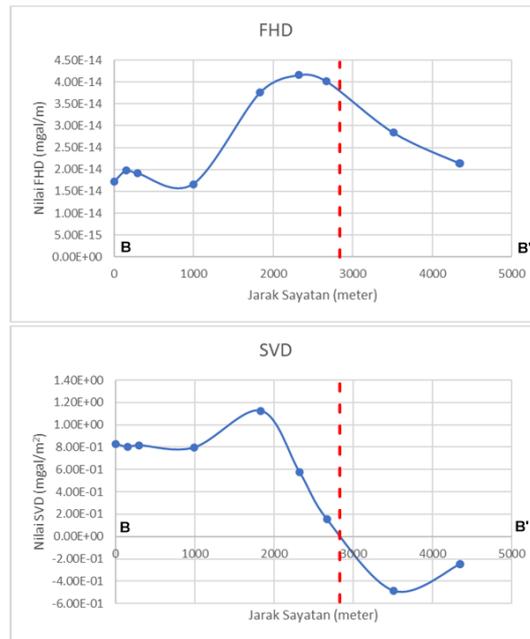
**Gambar 8.** Peta Nilai SVD di Wilayah Penelitian Sesar RMKS

Untuk mendapatkan mekanisme Sesar RMKS secara mendetail, dilakukan sayatan sebanyak 6 sayatan secara acak pada garis dugaan Sesar RMKS yang berwarna merah. Keenam sayatan tersebut adalah sayatan A-A', B-B', C-C', D-D', E-E', F-F'. Berdasarkan Gambar 9, dilakukan sayatan A-A' yang menunjukkan adanya dugaan sesar yang ditunjukkan dengan nilai FHD maksimum dan nilai SVD bernilai 0. Dari sayatan A-A', Sesar RMKS terlihat memiliki mekanisme berupa sesar normal.



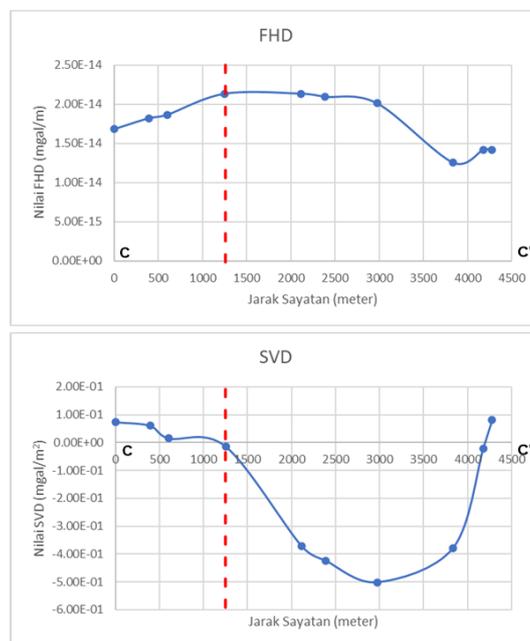
**Gambar 9.** Grafik Sayatan A-A'

Kemudian dilakukan sayatan B-B' untuk mendapatkan mekanisme Sesar RMKS. Berdasarkan Gambar 10, didapatkan dugaan Sesar RMKS yang memiliki mekanisme berupa sesar normal. Pada sayatan B-B', mekanisme sesar normal terlihat dari nilai  $|+SVD|$  lebih besar dari nilai  $|-SVD|$ .



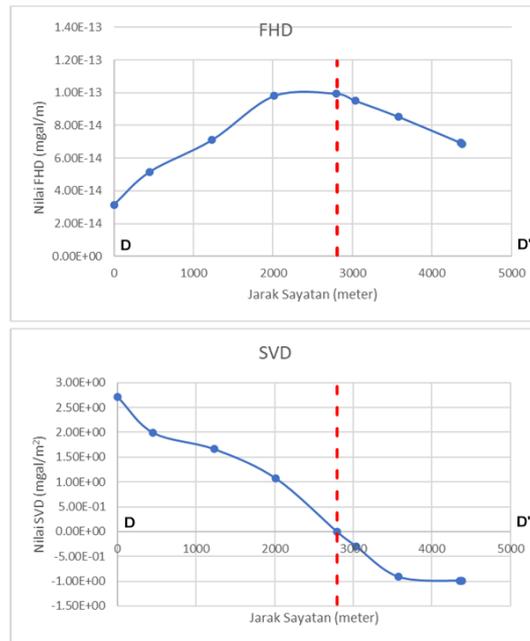
**Gambar 10.** Grafik Sayatan B-B'

Lalu, dilakukan sayatan ketiga berupa sayatan C-C'. Berdasarkan Gambar 11, didapatkan dugaan sesar yang ditandai dengan grafik nilai FHD maksimal dan nilai SVD 0. Dari Gambar 11, dapat disimpulkan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme sesar naik.



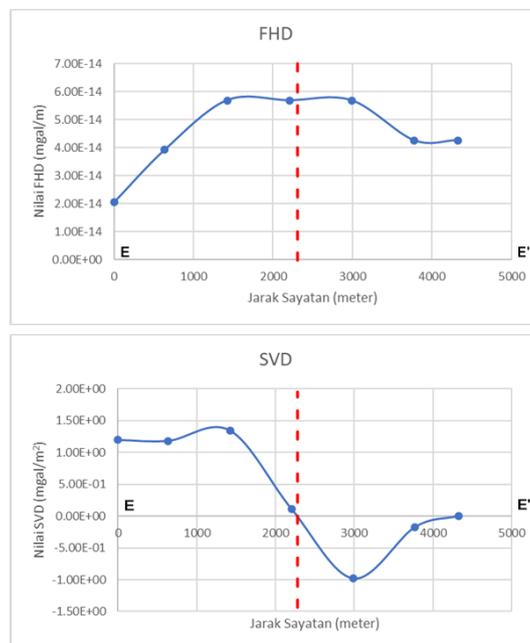
**Gambar 11.** Grafik Sayatan C-C'

Selanjutnya dilakukan analisis turunan berupa SVD menggunakan sayatan keempat atau sayatan D-D'. Berdasarkan Gambar 12, yang memuat grafik sayatan D-D' menunjukkan adanya garis dugaan yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna merah. Pada sayatan D-D' pada grafik sayatan SVD, didapatkan Sesar RMKS memiliki mekanisme berupa sesar normal.



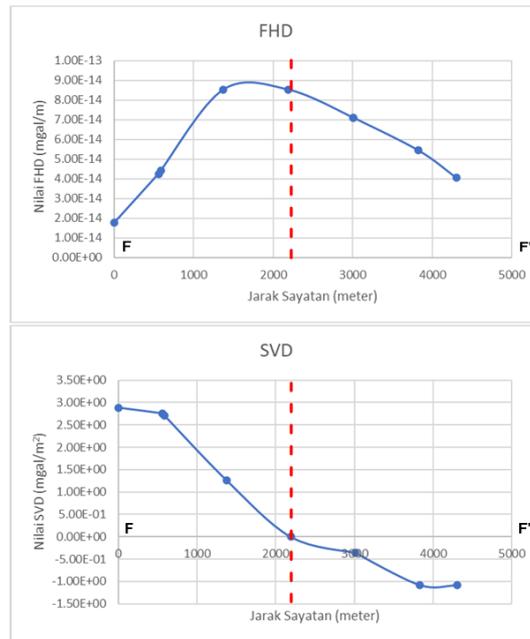
**Gambar 12.** Grafik Sayatan D-D'

Kemudian, pada sayatan E-E' didapatkan garis dugaan Sesar RMKS yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna merah. Pada Gambar 13, memuat grafik sayatan E-E' yang menunjukkan Sesar RMKS yang memiliki mekanisme berupa sesar normal.



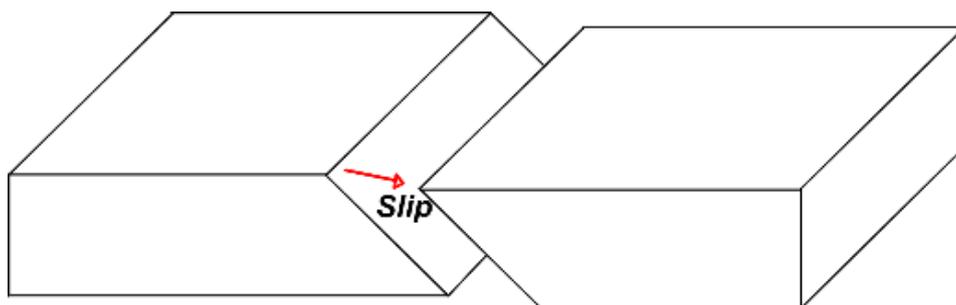
**Gambar 13.** Grafik Sayatan E-E'

Berdasarkan Gambar 14, menunjukkan bahwa sayatan F-F' terdapat garis dugaan Sesar RMKS yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna merah. Hal ini dapat disimpulkan berupa garis sesar karena nilai FHD maksimum dan nilai SVD bernilai 0. Selain itu, dari sayatan F-F' juga dapat disimpulkan mekanisme Sesar RMKS berupa sesar normal.



Gambar 14. Grafik Sayatan F-F'

Setelah dilakukan penelitian karakteristik Sesar RMKS dengan data gaya berat menggunakan analisis turunan berupa FHD dan SVD dapat disimpulkan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme sesar normal yang ditunjukkan oleh 5 sayatan dari 6 sayatan yang dilakukan. Namun, menurut Pusgen (2017) menyatakan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme berupa sesar geser dengan arah slip mengiri atau *sinistral strike slip*. Dengan mempertimbangkan penelitian sebelumnya yang dilaksanakan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (Pusgen), sehingga dapat disimpulkan bahwa Sesar RMKS memiliki *strike* yang sama, garis sesar yang tidak lurus sempurna, dan mekanisme sesar berupa sesar *oblique* dengan pengaruh mekanisme sesar normal seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Mekanisme Sesar *Oblique* dengan Pengaruh Mekanisme Sesar Normal

## PENUTUP

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa nilai *Simple Bouguer Anomaly* (SBA) dari Pulau Madura memiliki anomali di sisi barat laut, timur laut, dan selatan Pulau Madura sebesar 62-90 mgal. Kemudian, pengolahan data dilakukan pemisahan anomali regional dengan hasil bahwa adanya kontras densitas di antara anomali di sisi barat laut, timur laut, dan selatan Pulau Madura dengan nilai 64 mgal. Pengolahan dilanjutkan dengan mencari nilai *First Horizontal Derivative* (FHD) yang didapatkan bahwa adanya garis batas sesar yang ditandai

dengan nilai FHD maksimal, yaitu sebesar  $1,25 \times 10^{-13}$  mgal/m. Selain itu diketahui bahwa berdasarkan nilai FHD, didapatkan bahwa Sesar RMKS pada penelitian ini memiliki *strike* yang sama dengan dugaan sesar menurut Pusat Studi Gempa Nasional tetapi memiliki garis sesar yang tidak lurus sempurna. Lalu, dilakukan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk mengetahui mekanisme dari Sesar RMKS yang menunjukkan bahwa Sesar RMKS memiliki mekanisme sesar *oblique* dengan pengaruh sesar normal.

### **Ucapan Terima Kasih**

Tim penulis mengucapkan puji syukur sebesar-besarnya karena dengan pertolongan Tuhan Yang Maha Esa penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Selain itu, tim penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak University San Diego, Badan Informasi Geospasial, dan Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral yang telah menyediakan data dalam penelitian ini sehingga penelitian ini memiliki data yang tervalidasi.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Alhassan, A., & Aliyu, A. (2022). The Principle of Interpretation of Gravity Data Using Second Vertical Derivative Method. In *Gravitational Field - Concepts and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.100443>
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2012). Gravity and Magnetic Exploration. In *Gravity and Magnetic Exploration*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511843129>
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical Research Letters*, 40(16). <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- Maimuna, A. K., Pramesthi, E. A., Segoro, Y. A., Margiono, R., Azzahra, K. S., Akhadi, M., & Siregar, D. V. (2021). Analisis Anomali Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan Pemodelan 3D (Studi Kasus Gempa di Kepulauan Togean, Kabupaten Tojo Una-Una, Sulawesi Tengah). *Jurnal Geofisika*, 19(1), 17-23.
- Nafian, M., Gunawan, B., & Permana, N. R. (2021). 2D Forward Modeling Geothermal System Gravity Data in South Solok Region, West Sumatra. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 4(1). <https://doi.org/10.15408/fiziya.v4i1.20235>
- Nettleton, L. L. (1976). *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*. McGraw-Hill.
- Prasetyadi, C. (2023). Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala: Sebuah Rekonstruksi Paleotektonik. *Jurnal Teknik Geologi*, 25(2), 119–132.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- Rachmawati, F. A., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Mamay, S. (2019). Penentuan Sumber Panas Sistem Panas Bumi Gunungapi Talang, Sumatera Barat Berdasarkan Sejarah Panas Dan Geokimia Air. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3(1).
- Tsuboi, C., & Kato, M. (1952). The First and Second Vertical Derivatives of Gravity. *Journal of Physics of the Earth*, 1(2). <https://doi.org/10.4294/jpe1952.1.95>
- Wahyudi, E. J., Kynantoro, Y., & Alawiyah, S. (2017). Second Vertical Derivative Using 3-D Gravity Data for Fault Structure Interpretation. *Journal of Physics: Conference Series*, 877(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/877/1/012039>
- W.M. Telford, L. P. G., & Sheriff, R. E. (1991). *Applied geophysics* (second edition). In Cambridge University Press.

-----