p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by: Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1 Surabaya - Indonesia
ifi@unesa.ac.id

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 3 Tahun 2026, hal 420-429

STUDI ZONA SESAR MADURA MENGGUNAKAN ANALISIS FIRST HORIZONTAL DERIVATIVE (FHD) DAN SECOND VERTICAL DERIVATIVE (SVD) BERBASIS DATA ANOMALI GRAVITASI

[1)]Alfina Alayda Rofiah, [2)] Madlazim, [3)] Muhammad Nurul Fahmi

[1)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: alfinaalayda.22007@mhs.unesa.ac.id
[2)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id
[3)] Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhammadfahmi@unesa.ac.id

Abstrak

Pulau Madura merupakan bagian dari sistem struktur geologi Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) yang berperan penting dalam perkembangan tektonik Jawa Timur. Namun, kondisi struktur bawah permukaan di wilayah ini masih belum teridentifikasi secara detail. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola anomali gravitasi dan menginterpretasikan struktur bawah permukaan yang berkaitan dengan sistem RMKS menggunakan metode gravitasi. Data yang digunakan berupa data *Free Air Anomaly* (FAA) dan data topografi yang diperoleh dari *Bureau Gravitimetrique Internasional* (BGI). Pengolahan data dilakukan melalui koreksi Bouguer untuk memperoleh *Complete Bouguer Anomaly* (CBA), pemisahan anomali regional dan residual menggunakan metode moving average, serta analisis *First Horizontal Derivative* (FHD), *Second Vertical Derivative* (SVD), dan inversi 3D menggunakan Grablox. Hasil penelitian mengindikasikan nilai anomali Bouguer berkisar -35 hingga 55 mGal yang mengindikasikan variasi densitas batuan bawah permukaan. Analisis FHD dan SVD mengindikasikan adanya pola *lineament* dan zona kontras densitas yang memanjang relatif barat-timur hingga barat laut-tenggara. Model inversi 3D memperlihatkan distribusi densitas yang tidak homogen serta zona perubahan densitas yang diduga berkaitan dengan struktur geologi bawah permukaan. Berdasarkan kesesuaian orientasi anomali, hasil analisis FHD-SVD, dan model inversi 3D, struktur bawah permukaan di wilayah penelitian diinterpretasikan berkaitan dengan sistem struktur sesar RMKS.

Kata Kunci: Anomali gravitasi, RMKS, FHD, SVD, 3D

Abstract

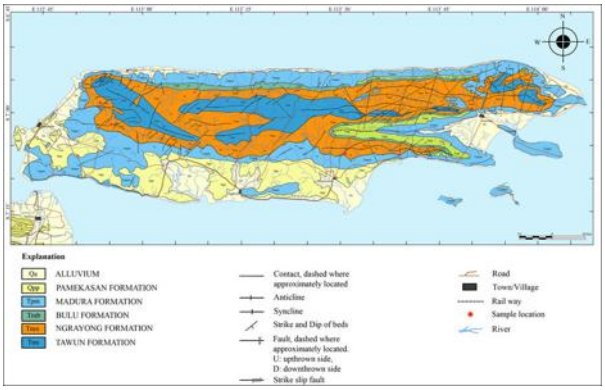
Madura island is part of the Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) geological structure system, which playsre a crucial role in the tectonic development of East Java. However, the subsurface structure in this region has not been identified in detail. This study aims to identify gravity anomaly patterns and interpret subsurface structures to the RMKS system using gravity methods. The data used consisted of Free Air Anomaly (FAA) and topographic data obtained from the Bureau Gravitimetrique International (BGI). Data processing involved Bouguer correction to obtain the Complete Bouguer Anomaly (CBA), separation of regional and residual anomalies using the moving average method, and First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) analyses, as well as 3D inversion using Grablox. The results showed Bouguer anomaly values ranging from -35 to 55 mGal, indicating variations in subsurface rock density. FHD and SVD analyses revealed lineament patterns and density contrast zones extanding relatively west - east to northwest – southeast. The 3D inversion model revealed an inhomogeneous density distribution and zones of density change suspected to be related to subsurface geological structures. Based on the conformity of the anomaly orientation, the FHD-SVD analysis results, and the 3D inversion model, the subsurface structures in the study area are interpreted to be related to the RMKS fault structure system.

Keyword: *Gravitational anomaly, RMKS, FHD, SVD, 3D*

p-ISSN : 2302-4216
e-ISSN : 2830-1765
Inovasi Fisika Indonesia
https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/inovasi-fisika-indonesia
Published by:
Program Studi Fisika
Jurusan Fisika FMIPA
Universitas Negeri Surabaya
Kampus Unesa Ketintang Jl. Ketintang Gd. C3 Lt. 1
Surabaya - Indonesia
jifi@unesa.ac.id

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki aktivitas tektonik tinggi akibat interaksi Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik (Alif *et al*., 2021; Guo *et al*., 2017; Hutchings & Mooney, 2021; Ragil & Setiawan, 2015; Yulinda *et al*., 2025). Aktivitas tektonik tersebut menghasilkan berbagai struktur geologi yang berkembang di seluruh wilayah Indonesia, salah satunya adalah sistem struktur Rembang-Madura-Kangean-Sakala (RMKS) yang berada di Jawa Timur (Pramadhana *et al*. , 2024). Keberadaan struktur ini berperan penting dalam mengontrol kondisi geologi regional, distribusi batuan, serta perkembangan deformasi tektonik di wilayah Madura(Anjasmara & Muthmainnah, 2018). Namun, informasi mengenai struktur bawah permukaan masih terbatas karena sebagian besar interpretasi geologi hanya didasarkan pada data permukaan. Hal tersebut menjadi aspek penting untuk dipahami karena dapat memberikan informasi mengenai perkembangan tektonik regional serta kondisi geologi wilayah penelitian (Namora, 2018; Okeke *et al*., 2018; Okpoli & Akingboye, 2019).



Gambar 1. Peta geologi Pulau Madura (Sumber: Akhadi & Sudarsono, 2018).

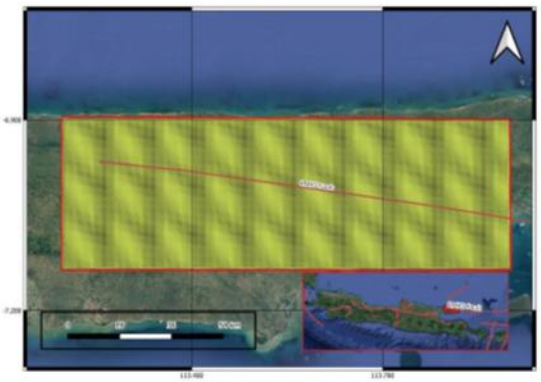
Meskipun keberadaan sistem RMKS telah banyak dibahas dalam kajian geologi regional, karakteristik struktur bawaah permukaan di sebagian wilayah Pulau Madura masih belum teridentifikasi secara rinci. Informasi geologi permukaan sering kali belum mampu menggambarkan kondisi bawah permukaan secara menyeluruh, terutama pada daerah yang tertutupi oleh endapan sedimen. Oleh karena itu, diperlukan metode geofisika yang mampu memberikan informasi mengenai distribusi densitas batuan bawah permukaan (Philip Kearey *et al*., 2002; Pirtiijarvi, 2014; Ragil & Setiawan, 2015; Pratiwi *et al*., 2022).

Variasi nilai percepatan gravitasi yang terukur di permukaan dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi perubahan densitas batuan bawah permukaan, sehingga metode gravitasi efektif digunakan dalam kajian struktur geologi (Nurhasan *et al*., 2023; Puspita *et al*., 2024). Variasi densitas tersebut dapat berkaitan dengan keberadaan batas litologi, rekahan, maupun struktur sesar bawah permukaan (Toushmalani, 2010). Identifikasi batas struktur geologi pada data gravitasi diperkuat melalui penerapan turunan horizontal dan vertikal sehingga perubahan densitas batuan dapat diamati dengan lebih jelas (Margiono *et al*., 2021; Azmi, 2024; Nur Faiza *et al*., 2024; Syarifuddin & Yusuf, 2024). Metode FHD digunakan untuk menonjolkan perubahan gradien horizontal, sedangkan metode SVD digunakan untuk memperjelas kontras densitas dan menunjukkan indikasi keberadaan struktur bawah permukaan melalui respon turunan vertikal data gravitasi . Selain itu penelitian ini juga menggunakan inversi tiga dimensi (3D) untuk memvisualisasikan distribusi densitas batuan bawah permukaan secara spasial. Integrasi hasil analisis anomali gravitasi, FHD, SVD, dan inversi 3D. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi pola anomali gravitasi serta menginterpretasikan struktur bawah permukaan yang berkaitan dengan sistem struktur RMKS di Pulau Madura menggunakan analisis FHD, SVD, dan Inversi 3D berbasis data anomali gravitasi.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada wilayah Pulau Madura, Provinsi Jawa Timur, yang secara geologi termasuk ke dalam sistem struktur RMKS. Wilayah penelitian berada pada koordinat 112˚36′00″-114˚12′00″BT dan 6˚57′27″-11′21″ LS. Wilayah tersebut dipilih berdasarkan jalur struktur regional yang diduga berperan dalam perkembangan deformasi tektonik di Pulau Madura. Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa *Free Air Anomaly* (FAA) dan data topografi yang diperoleh dari *Bureau Gravimetrique International* (BGI) dengan resolusi spasial 2 x 2 arc-minute. Data tersebut telah melalui beberapa tahapan koreksi sehingga mendapat data CBA, kemudian dilakukan tahapan analisis FHD , SVD, dan interpretasi 3D (Julzarika *et al*., 2020; Maulana *et al*., 2020).



Gambar 2. Peta wilayah penelitian Sesar RMKS (Sumber: Pramadhana *et al*., 2024).

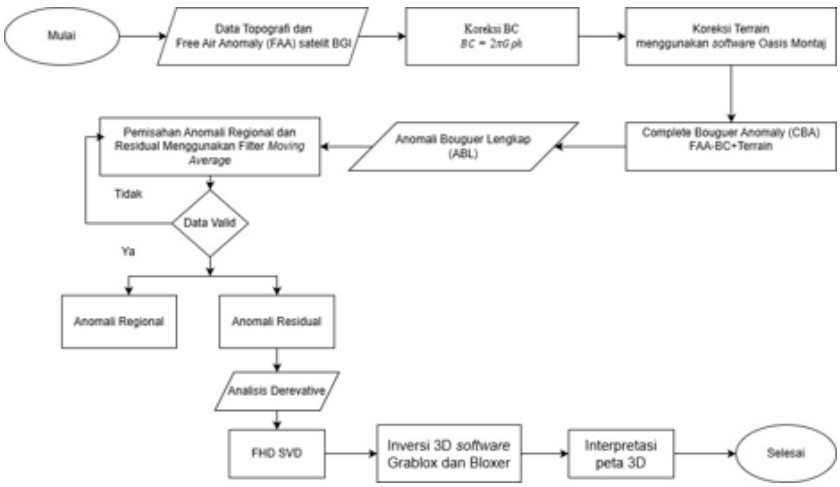
B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel manipulasi pada penelitian ini berupa data anomali gravitasi wilayah Pulau Madura. Variabel kontrol adalah nilai densitas rata-rata batuan yang digunakan dalam perhitungan CBA, sedangkan variabel respon berupa peta CBA, anomali regional, anomali residual, dan model inversi 3D untuk interpretasi struktur bawah permukaan.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan berupa data FAA dan data topografi yang diperoleh dari BGI. Data tersebut merupakan hasil kompilasi observasi gravitasi global yang berasal dari satelit gravitimetri, satelit altimetri, dan model gravitasi bumi yang telah diproses secara global. Selanjutnya, data FAA dan data topografi digunakan dalam perhitungan CBA untuk mengidentifikasi variasi densitas batuan dan menginterpretasikan struktur bawah permukaan di wilayah Pulau Madura (Nafian *et al*., 2025).

D. Teknik Pengolahan Data



Gambar 3. Flowchart Penelitian.

Pengolahan data diawali dengan perhitungan CBA menggunakan data FAA dan topografi. Pada tahap ini digunakan densitas Bouguer sebesar 2,67 g/cm^3yang merepresentasikan densitas rata-rata batuan kerak benua dan umum digunakan dalam koreksi Bouguer untuk studi regional gravitasi. Koreksi terrain diterapkan untuk mengurangi pengaruh variasi topografi terhadap respon gravitasi sehingga diperoleh nilai anomali yang lebih mempresentasikan kondisi bawah permukaan. Nilai CBA dihitung menggunakan persamaan (Hinze, *et al*., 2013; Maulidah *et al*., 2022; Zulkifli *et al*., 2024):

$$CBA = FAA\text{-}BC\text{+}TC \tag{1}$$

Data anomali gravitasi kemudian diinterpolasi menjadi data grid menggunakan metode *minimum curvature interpolation* karena metode ini mampu menghasilkan permukaan yang halus dan mempertahankan kontinuitas anomali gravitasi. Hasil interpolasi disusun dalam grid spacing sebesar 2x2 arc-minute mengikuti reosuli data sumber. Wilayah pengolahan akhir dibatasi pada koordinat 112˚36′00″- 114˚12′00″ BT dan 6˚57′27″- 7˚11′21″ LS, yang mencakup area Pulau Madura dan zona struktur yang diduga berkaitan dengan sistem RMKS. Selanjutnya dilakukan pemisahan antara anomali regional dan residual menggunakan metode moving average dengan ukuran jendela (*window size*) sebesar 5 x 5/data grid. Ukuran jendela tersebut dipilih untuk memisahkan komponen regional yang berasosiasi dengan sumber dalam dan komponen residual yang mempresentasikan variasi densitas dangkal. Anomali residual kemudian dianalisis menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk memperjelas batas struktur geologi dan zona kontras densitas bawah permukaan. Persamaan metode turunan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{FHD} = \sqrt{(\frac{\partial g}{\partial x})^2 + (\frac{\partial g}{\partial y})^2} \tag{2}$$

$$\frac{\partial g}{\partial x} \approx \frac{g\,(x+\Delta_x)-g(x-\Delta_x)}{2\,\Delta_x} \tag{3}$$

$$SVD = \frac{g_{i+1}-2g_i+g_{i-1}}{\Delta x^2} \tag{4}$$

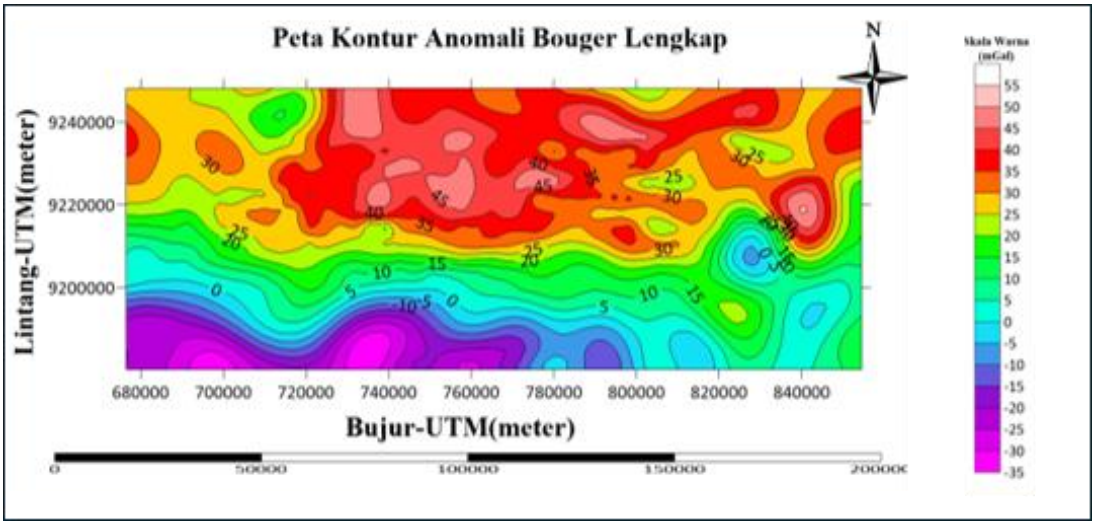
Dalam implementasinya, nilai SVD dihitung menggunakan pendekatan beda hingga (*finite difference*) pada data grid anomali gravitasi. Tahap akhir dilakukan inversi tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Grablox-Bloxer untuk memperoleh distribusi densitas bawah permukaan. Model inversi dibangun menggunakan 3200 blok dengan ukuran model sebesar 177,182 x 67, 308 x 18 dan pembagian grid 20 x 20 x 8 pada arah x, y, dan z. Berdasarkan konfigurasi tersebut diperoleh ukuran sel model sekitar 8,86 x 3,37 x 2,25. Nilai densitas referensi yang digunakan sebesar 2,67 g/cm^3 sebagai representasi densitas rata-rata batuan pada koreksi Bouguer dan pemodelan distribusi densitas bawah permukaan (Sumintadireja *et al*., 2018; Margiono *et al*., 2021; Ibrahim *et al*., 2022; Rosid, 2023; Azmi, 2024).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Peta CBA pada wilayah Pulau Madura menunjukkan nilai anomali gravitasi berkisar antara -35 mGal hingga 55 mGal (**Gambar 4**). Zona anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna kuning hingga merah berkembang dominan pada bagian utara hingga tengah Pulau Madura, sedangkan zona anomali rendah yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru berkembang pada bagian selatan (Telford *et al*., 1990). Anomali gravitasi tinggi mengindikasikan keberadaan batuan dengan densitas relatif lebih besar dibandingkan daerah sekitarnya, sedangkan anomali rendah menunjukkan keberadaan material dengan densitas lebih rendah yang umumnya berkaitan dengan batuan sedimen atau zona yang mengalami pelapukan. Perbedaan nilai anomali tersebut menunjukkan adanya variasi karakteristik geologi bawah permukaan di wilayah penelitian (Reynold, 2011).

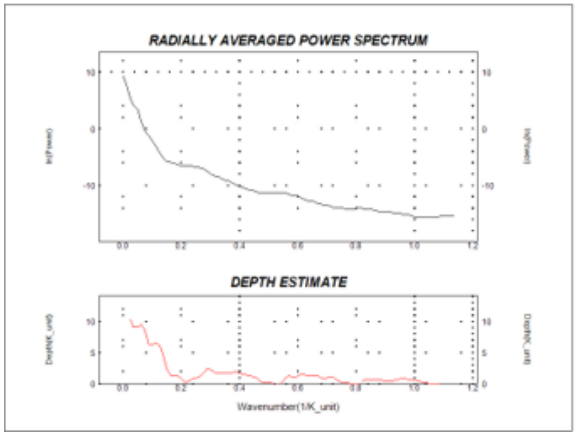
Selain itu, peta CBA memperlihatkan beberapa zona dengan perubahan nilai anomali yang relatif kontras. Oleh karena itu, diperlukan analisis lanjutan menggunakan metode FHD dan SVD untuk memperjelas batas struktur dan mengidentifikasi zona kontras densitas yang berpotensi berkaitan dengan keberadaan sesar bawah permukaan (Blakely, 1995; Reynold, 2011).



Gambar 4. Peta kontur CBA (wilayah Pulau Madura).

B. Pembahasan

a. Analisis *First Horizontal Derivative* (FHD)

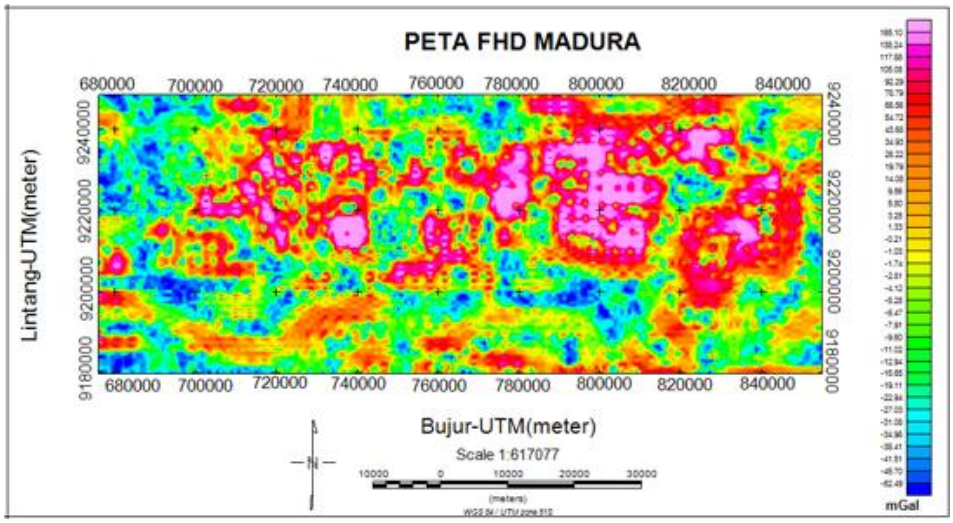


Gambar 5. Grafik RSAP

Analisis FHD digunakan untuk menonjolkan perubahan gradien horizontal anomali gravitasi. Hasil analisis mengindikasikan adanya beberapa zona gradien tinggi yang memperlihatkan kecenderungan pola *lineament* dengan arah dominan barat–timur hingga barat laut–tenggara. Nilai FHD yang tinggi mengindikasikan adanya perubahan densitas batuan, sehingga dapat diinterpretasikan sebagai batas litologi maupun zona diskontinuitas bawah permukaan. Zona gradien tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai indikasi adanya struktur gelogi yang diduga memengaruhi distribusi densitas batuan bawah permukaan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lanjutan menggunakan metode SVD guna memperjelas keberadaan struktur yang teridentifikasi (Margiono *et al*., 2021; Nur Faiza *et al*., 2024; Syarifuddin & Yusuf, 2024).

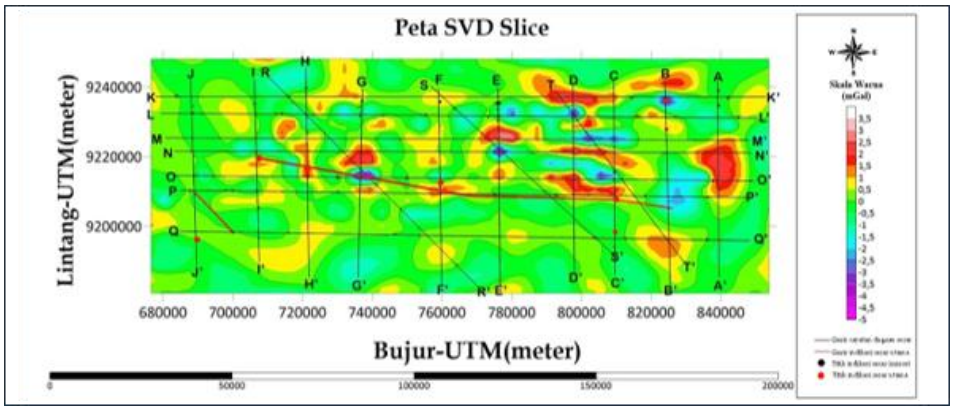
Berdasarkan peta FHD, teridentifikasi beberapa zona gradien tinggi yang ditunjukkan oleh warna merah hingga magenta dan memperlihatkan kecenderungan pola linier yang berkembang relatif dari arah barat-timur hingga barat laut-tenggara. Nilai FHD yang tinggi diinterpretasikan menunjukkan perubahan densitas batuan yang relatif tajam sehingga dapat diinterpretasikan sebagai batas litologi maupun zona diskontinuitas bawah permukaan. Sebaliknya, zona dengan nilai FHD rendah (biru-hijau) diinterpretasikan sebagai daerah dengan perubahan densitas yang lebih landai. Interpretasi tersebut didukung oleh hasil analisis spektrum yang menunjukkan bahwa komponen residual memiliki estimasi kedalaman sekitar 1,1km dan dipilih sebagai dasar analisis lanjutan karena lebih sensitif terhadap sumber anomali lanjutan karena lebih

sensitif terhadap sumber anomali dangkal. Oleh karena itu, pola *lineament* yang teridentifikasi pada peta FHD diinterpretasikan merepresentasikan struktur bawah permukaan dangkal dibandingkan struktur regional yang lebih dalam. Sebaran zona gradien tinggi yang relatif menerus mengindikasikan kemungkinan adanya perubahan densitas lateral yang cukup signifikan dan diinterpretasikan sebagai indikasi struktur geologi di wilayah penelitian. Orientasi *lineament* yang diperoleh memperlihatkan kecenderungan relatif searah dengan orientasi sistem struktur regional RMKS, sehingga hasil FHD digunakan untuk interpretasi lanjutan dan validasi kembali menggunakan analisis SVD serta pemodelan inversi 3D.



Gambar 6. Peta FHD Madura.

b. Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD)

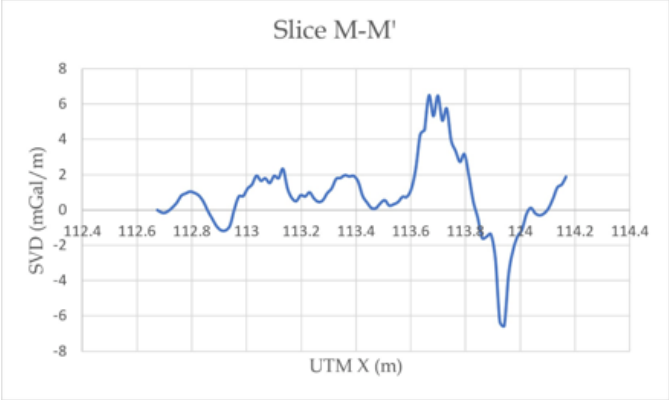


Gambar 7. Analisis SVD Slice.

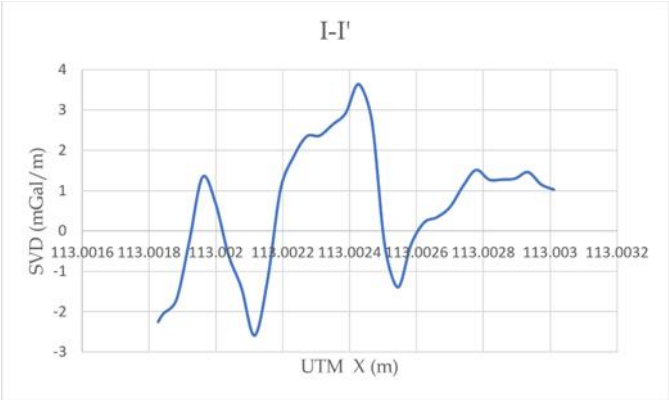
Berdasarkan peta SVD, zona yang diinterpretasikan sebagai indikasi struktur sesar ditandai oleh nilai SVD yang mendekati nol (*zero crossing*) yang merepresentasikan batas perubahan densitas batuan bawah permukaan. Pola *lineament* yang terbentuk memperlihatkan kecenderungan arah dominan barat–timur dan konsisten dengan hasil analisis FHD, diinterpretasikan sebagai indikasi struktur geologi yang berkembang pada wilayah penelitian. Untuk memperkuat interpretasi, dilakukan analisis pada 17 lintasan utama (A-A' hingga Q-Q') serta tiga lintasan pendukung (R-R', S-S', dan T-T') yang dibuat tegak lurus terhadap arah dugaan struktur.

Profil SVD pada lintasan I–I' menunjukkan nilai maksimum dan minimum yang relatif seimbang terhadap garis nol (*zero crossing*), yang mengindikasikan adanya perubahan densitas secara lateral di bawah permukaan. Pola perubahan nilai tersebut menunjukkan kesesuaian dengan zona kontras pada peta SVD yang memperlihatkan kecenderungan *lineament* berarah relatif barat–timur hingga barat laut–tenggara, sehingga

diinterpretasikan sebagai indikasi zona diskontinuitas atau batas struktur bawah permukaan yang diduga berkaitan dengan perkembangan struktur geologi regional di wilayah penelitian.



Gambar 8. Grafik slice M-M′ peta kontur SVD .



Gambar 9. Grafik slice I-I′ peta kontur SVD.

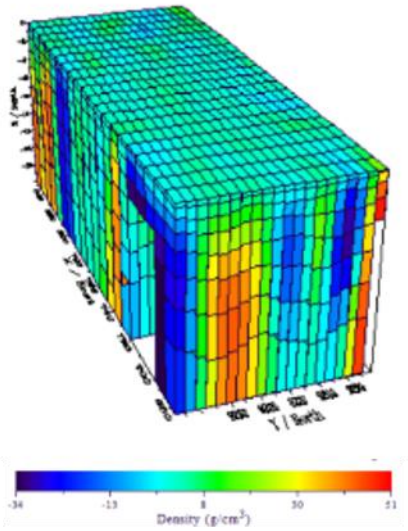
Respon SVD pada kedua tampilan menampilkan perubahan nilai maksimum dan minimum yang konsisten dengan zona gradien tinggi hasil analisis FHD, sehingga mendukung interpretasi kemungkinan adanya struktur sesar di wilayah penelitian. Orientasi *lineament* yang teridentifikasi memiliki kesesuaian dengan arah sistem struktur RMKS, sehingga struktur bawah permukaan yang teridentifikasi diinterpretasikan berkaitan dengan perkembangan sistem struktur RMKS di Pulau Madura (Felix *et al*., 2015; Ibrahim *et al*., 2022; Nur Faiza *et al*., 2024; Pramadhana *et al*.,2024).

Untuk memperkuat interpretasi struktur bawah permukaan, hasil identifikasi *lineament* berdasarkan analisis SVD dilakukan perbandingan secara kualitatif dengan peta geologi regional dan orientasi sistem struktur RMKS yang telah ditampilkan pada bagaian pendahuluan **gambar 1**. Hasil perbandingan mengindikasikan bahwa beberapa lienment yang teridentifikasi memiliki kecenderungan orientasi yang relatif searah dengan pola struktur regional, sehingga zona kontras densitas yang teridentifikasi diinterpretasikan sebagai indikasi struktur bawah permukaan yang diduga berkaitan dengan perkembangan geologi regional di wilayah penelitian.

c. Interpretasi Peta 3D

Hasil inversi 3D mengindikasikan distribusi densitas bawah permukaan yang bervariasi secara lateral dan vertikal dengan rentang nilai sekitar -34 hingga 51 (kontras densitas). Kontras densitas yang teridentifikasi pada model mengindikasikan adanya variasi karakteristik batuan bawah permukaan serta zona perubahan densitas yang cukup signifikan. Beberapa zona densitas rendah memperlihatkan kecenderungan pola linier yang menerus dari kedalaman menuju bagian yang lebih dangkal, sehingga diinterpretasikan sebagai indikasi struktur geologi bawah permukaan. Pola tersebut memiliki kesesuaian dengan hasil analisis FHD dan SVD yang mengindikasikan keberadaan *lineament* berarah barat–timur hingga barat laut–tenggara. Berdasarkan integrasi ketiga metode tersebut, struktur bawah permukaan yang diduga berkaitan dengan sistem struktur

RMKS yang berkembang di wilayah Pulau Madura (Sumintadireja *et al.*,2018; Erlangga, 2020; Nafian *et al.*, 2025).



Gambar 10. Interpretasi Peta 3D.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data anomali gravitasi menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD), *Second Vertical Derivative* (SVD), dan pemodelan inversi 3D, diperoleh bahwa nilai *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) di wilayah Pulau Madura berkisar antara -35 hingga 55 mGal yang menunjukkan adanya variasi densitas batuan bawah permukaan. Hasil analisis spektrum mengindikasikan kedalaman sumber anomali regional sekitar 7,5 km dan anomali residual sekitar 1,1 km, sehingga anomali residual digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan yang lebih dangkal.Analisis FHD berhasil menonjolkan zona perubahan gradien horizontal yang mengindikasikan batas kontras densitas batuan bawah permukaan, sedangkan analisis SVD memperjelas keberadaan zona perubahan densitas melalui pola *lineament* dan *zero crossing* yang teridentifikasi pada beberapa lintasan sayatan. Hasil kedua metode tersebut mengindikasikan adanya pola struktur bawah permukaan yang memanjang relatif barat–timur hingga barat laut–tenggara. Pola *lineament* yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan orientasi struktur regional yang berkembang di Pulau Madura. Hasil pemodelan inversi 3D mengindikasikan distribusi densitas bawah permukaan yang tidak homogen dengan adanya zona kontras densitas yang berkembang secara lateral maupun vertikal. Kesesuaian pola kontras densitas pada model inversi 3D dengan hasil analisis FHD dan SVD diinterpretasikan sebagai indikasi struktur geologi bawah permukaan yang berkembang pada wilayah penelitian. Berdasarkan integrasi hasil anomali gravitasi, analisis FHD-SVD, dan model inversi 3D, struktur bawah permukaan yang teridentifikasi diinterpretasikan berkaitan dengan sistem struktur RMKS. Interpretasi tersebut mengindikasikan adanya zona diskontinuitas dan perubahan densitas batuan yang diduga merupakan manifestasi struktur geologi yang terbentuk akibat aktivitas tektonik regional di Pulau Madura.

B. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data gravitasi dengan metode geofisika lain, seperti seismik, magnetik, atau resistivitas, guna meningkatkan keakuratan interpretasi struktur bawah permukaan. Validasi hasil interpretasi juga dapat dilakukan menggunakan data kegempaan, katalog BMKG maupun USGS, serta analisis *focal mechanism* untuk memperoleh informasi yang lebih komprehensif mengenai karakteristik struktur geologi di wilayah penelitian. Selain itu, penggunaan data gravitasi dengan resolusi spasial yang lebih tinggi serta integrasi dengan peta geologi rinci dan survei lapangan diharapkan dapat

memberikan gambaran yang lebih detail mengenai hubungan antara distribusi densitas batuan dan sistem struktur geologi yang berkembang di Pulau Madura.

DAFTAR PUSTAKA

Alif, S. M., Sauri, M. S., & Perdana, R. S. (2021). Perubahan Kecepatan Subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Sundaland akibat Gempa Bumi Samudera Hindia tahun 2016. *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, *4*(3), 159–167. https://doi.org/10.14710/jgt.4.3.2021.159-167

Anjasmara, I. M., & Muthmainnah, N. U. (2018). *ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN DI PULAU MADURA DARI HASIL PENGOLAHAN DINSAR MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-1A*. 103–112.

Azmi, M. L. (2024). Analisis Sesar Sekitar Wilayah Danau Toba Berdasarkan Data Anomali Gravitasi. *Buletin Meteorologi, Klimatologi Dan Geofisika*, *5*(3), 29–38. https://balai2bmkg.id/index.php/buletin_mkg/article/view/123

Daffa Andhika Pramadhana, Binar Haafizh P.P. Putra, Muhammad Syirojudin., (2024). *Studi Pemetaan Sesar Rembang-Madura-Kangean-Sakala Turunan*. *10*(1), 51–62.

Erlangga, W. (2020). Karakteristik Dan Parameter Subduksi Sumber Gempa Pulau Jawa. *Teknisia*, *XXV*(2), 30–40. https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss2.art4

Felix, A., Parera, T., Ketut, I. G., Bunaga, S., Yusuf, M., Tinggi, S., Klimatologi, M., No, J. P., Meteorologi, B., Angkasa, J., Kemayoran, I. N., & Pusat, J. (2015). *Pemodelan Tiga Dimensi Anomali Gravitasi Dan Di Daerah Pacitan Snf2015-Ix-45 Snf2015-Ix-46*. *IV*(October 2014), 45–48.

Guo, X., Zhao, P. D. Q., & Farahani, R. K. H. H. (2017). Earth ' s gravity field modelling based on satellite accelerations derived from onboard GPS phase measurements. *Journal of Geodesy*. https://doi.org/10.1007/s00190-017-1009-y

Hinze, W.J., von Frese, R.R.B. and Saad, A. . (2013). *GMElectronicBookcopy2.pdf*.

Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, *22*(9), 1–42. https://doi.org/10.1029/2021GC009812

Ibrahim, M. M., Utami, P., & Raharjo, I. B. (2022). Analisis Struktur Geologi Berdasarkan Data Gravitasi Menggunakan Metode Second Vertical Derivative (SVD) Pada Lapangan Panas Bumi "X". *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, *3*(2), 59–59. https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i2.76

Julzarika, A., Suhadha, A. G., & Prasasti, I. (2020). *Plate and faults boundary detection using gravity disturbance and Bouguer gravity anomaly from space geodesy*. *4*(2), 117–131.

Margiono, R., Novitri, A., Pevriadi, A., & Zakariya, H. (2021). *Analisis Data Gravitasi Untuk Identifikasi Sesar Lokal Indonesia Gravity Data Analysis To Identify Local Faults As Source of*. 67–73.

Maulana, A. D., Prasetyo, D. A., & Setiawan, A. F. (2020). Analisis matematis penentuan konstanta koreksi Bouguer baru pada gravitasi satelit topex dalam implikasi kondisi geologi studi kasus sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Geosains Terapan*, *3*(5), 10–26.

Maulidah, H., Realita, A., Prastowo, T., Fisika, P. S., Fisika, J., Surabaya, U. N., & Grindulu, S. (2022). *IDENTIFIKASI SESAR GRINDULU DENGAN MEMANFAATKAN METODE GRAVITASI*. *11*, 20–27.

Nafian, M., Fahmi, M., Rahma, F. A., & Suciarty A H, V. (2025). Three-Dimensional Subsurface Structural Modeling of a Geothermal Prospect in Banda-Neira, Central Maluku, Based on GGMPlus Gravity Data. *Jurnal Fisika Unand*, *14*(4), 360–367. https://doi.org/10.25077/jfu.14.4.360-367.2025

Namora, J. (2018). Implementasi Business Intelligence Menentukan Daerah Rawan Gempa Bumi di Indonesia dengan Fitur Geolokasi. *Jurnal CoreIT: Jurnal Hasil Penelitian Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, *4*(2), 44. https://doi.org/10.24014/coreit.v4i2.5114

Nur Faiza, N., Wiryawan, M. F. A. R. H., & Syirojudin, M. (2024). Identifikasi Zona Sesar Berdasarkan Data Gravitasi Daerah Pasaman Barat, Sumatera Barat. *Jurnal Geosaintek*, *10*(3), 242–260. https://doi.org/10.12962/j25023659.v10i3.2081

Okeke, F. N., Ibuot, J., Obiora, D., & Abangwu, J. (2018). *Investigation of gravity anomalies in parts of Niger Delta Region in Nigeria using aerogravity data*. *February*. https://doi.org/10.5897/IJPS2017.4700

Okpoli, C. C., & Akingboye, A. S. (2019). Application of high-resolution gravity data for litho-structural and depth characterisation around Igabi area , Northwestern Nigeria. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, *8*(1), 231–241. https://doi.org/10.1080/20909977.2019.1689629

Philip Kearey, Michael Brooks, I. H. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*.

Pirtiijarvi, M. (2014). *Gravity Interpretation and Modeling Software Based on A 3-D Block Model* (User's Gui). https://www.scribd.com/document/727940490/Grablox-1-7-manu

Pratiwi, W., Martha, A. A., Setyonegoro, W., Letak, I., Palu, S., Pratiwi, W., Martha, A. A., Setyonegoro, W., Sigi, K., Bone, T., & Metode, D. (2022). *MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI MIKRO IDENTIFICATION OF THE PALU KORO FAULT USING MICROGRAVITY METHOD*. *3*(5), 20–24.

Puspita, M. B., Aprilla, A. N., Maryanto, S., Pradila, R., & Sari, H. (2024). *Preliminary Study of Subsurface Geological Setting Based on the Gravity Anomalies in Karangrejo-Tinatar Geothermal Area , Pacitan Regency , Indonesia*. *2024*(Figure 1), 1–9.

Ragil, M., & Setiawan, A. (2015). *27092-57673-1-Pb*. *19*(57), 13–18.

Rosid, M. S. (2023). *IDENTIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES IN SIGI REGENCY , CENTRAL IDENTIFICATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES IN SIGI REGENCY , CENTRAL SULAWESI BASED ON DERIVATIVE*. *March*. https://doi.org/10.21660/2023.103.3426

Sumintadireja, P., Dahrin, D., & Grandis, H. (2018). A note on the use of the second vertical derivative (SVD) of gravity data with reference to Indonesian cases. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, *50*(1), 127–139. https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.1.9

Syarifuddin, H., & Yusuf, M. (2024). Identifikasi Sebaran dan Jenis Sesar Lokal di Sekitar Sesar Waipoga Dengan Analisis Anomali Gravitasi. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *12*(02), 97–108. https://doi.org/10.23960/jtaf.v12i02.409

Toushmalani, R. (2010). *Application of gravity method in fault path detection*. *December 2010*.

Volcano, P. (2023). *Identification of Geological Structure Based on Gravity Method in Tangkuban Identification of Geological Structure Based on Gravity Method in Tangkuban Parahu Volcano , Bandung , Indonesia*. *March*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1159/1/012006

Yulinda, R., Nisa, L., Ilham, I., & Purba, J. (2025). The Relocation Of Bawean Earthquake Aftershock Using Double Difference Method. *Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia*, *7*(01), 013–025. https://doi.org/10.56099/jrgi.v7i01.147

Zulkifli, R., Muhardi, M., & Perdhana, R. (2024). Analisis Struktur Geologi Bawah Permukaan Di Kabupaten Sleman Berdasarkan Anomali Data Gravitasi. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, *10*(2), 162–173. https://doi.org/10.23960/jge.v10i2.326