

IDENTIFIKASI SESAR PATI DI WILAYAH JAWA TENGAH MENGGUNAKAN METODE *FIRST HORIZONTAL DERIVATIVE* DAN *SECOND VERTICAL DERIVATIVE*

Oktyasti Ganda Prihatiwi¹

¹Program Studi Geofisika, Departemen Geosains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Univeristas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

e-mail : loktyasti.ganda@ui.ac.id

ABSTRACT

Research on fault identification has been carried out in the Sesar Pati, Central Java. This research was conducted to determine the type of fault and the direction of the strike-dip fault. Fault identification needs to be done in the Sesar Pati because this fault is one of the major faults in the Central Java region. In addition, the movement activity of the Sesar Pati can trigger an earthquake that can endanger the people in the Sesar Pati area, so that fault identification activities can be used as the first step in mitigation activities to reduce the impact of the Sesar Pati movement activities that will be felt by the people. One of the geophysical methods that can be used to determine the type of Sesar Pati and its strike-dip is the satellite gravity method using First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) analysis. FHD can be used to determine the anomaly contrast limit of the fault and its strike-dip direction. Meanwhile, SVD is used to determine the type of fault. In addition, supporting data such as geological maps is also needed in the interpretation process. Based on the results of this study, it was found that Sesar Pati is a thrust fault type and strike direction of around $N70^{\circ}E$ with relatively northeastward trending dip. These results also match the data from the geological map. Then, this study also concluded that the satellite gravity data is good enough to identify geological structures in the large faults.

Keywords : First Horizontal Derivative, Satellite Gravity, Second Vertical Derivative, Sesar Pati

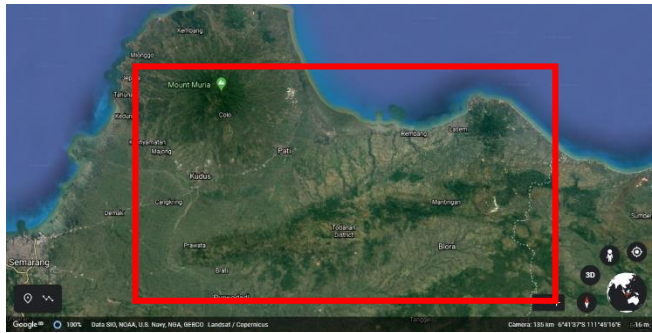
INTISARI

Penelitian tentang identifikasi sesar telah dilakukan di wilayah Sesar Pati, Jawa Tengah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tipe sesar dan arah strike-dip sesar. Identifikasi sesar perlu dilakukan di kawasan Sesar Pati karena sesar tersebut termasuk salah satu sesar besar di wilayah Jawa Tengah. Selain itu, aktivitas pergerakan dari Sesar Pati dapat memicu gempa bumi yang bisa membahayakan masyarakat yang berada di kawasan Sesar Pati, sehingga kegiatan identifikasi sesar dapat dijadikan sebagai langkah awal dalam kegiatan mitigasi untuk meminimalisir dampak dari aktivitas pergerakan Sesar Pati yang akan dirasakan oleh masyarakat sekitar. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis Sesar Pati dan strike-dip nya adalah metode gravitasi satelit dengan menggunakan analisis First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD). FHD dapat digunakan untuk mengetahui batas kontras anomali dari sesar dan arah strike-dip sesar. Sedangkan, SVD digunakan untuk mengetahui tipe sesar. Selain itu, dibutuhkan juga data penunjang berupa peta geologi dalam proses interpretasi. Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan bahwa struktur geologi Sesar Pati merupakan tipe sesar naik dan memiliki arah strike sekitar $N70^{\circ}E$ dengan dip yang relatif berarah timur laut. Hasil tersebut juga sesuai dengan data dari peta geologi. Kemudian, penelitian ini juga menyimpulkan bahwa data gravitasi satelit cukup bagus untuk mengidentifikasi struktur geologi berupa sesar besar.

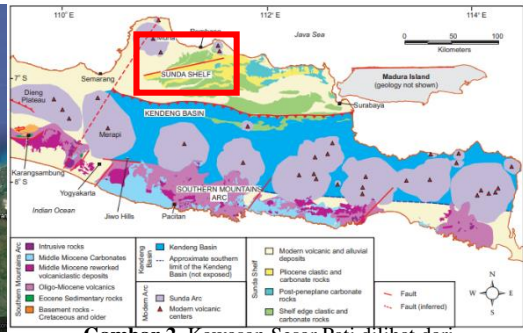
Kata kunci : First Horizontal Derivative, Gravitasi Satelit, Second Vertical Derivative, Sesar Pati

1. PENDAHULUAN

Kawasan Sesar Pati seperti yang terlihat pada Gambar 1, terletak di Cekungan Jawa Timur Utara yang memiliki luas sekitar 50.000 Km². Secara geografi pada Gambar 2, Cekungan Jawa Timur Utara di bagian selatan terdapat rangkaian gunung api dengan arah timur – barat dan di bagian utara terdapat Laut Jawa. Cekungan Jawa Timur Utara merupakan zona lemah akibat tumbukan atau penunjaman Lempeng Samudera Australia ke arah barat laut di bawah Lempeng Asia (Firdaus et al., 2018). Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk sebagai cekungan belakang busur (*back arc basin*) yang disebabkan oleh pemindahan jalur zona tumbukan yang terus menerus ke arah selatan Indonesia (Brandsen et al., 1992). Cekungan Jawa Timur Utara seperti yang terlihat pada Gambar 3, dibagi menjadi tiga bagian besar yang berturut – turut dari selatan ke utara adalah Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang (Bemmelen, 1949).

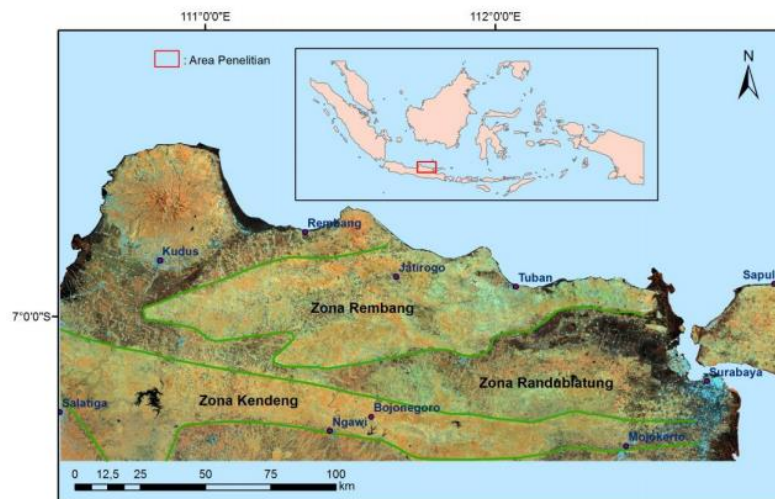


Gambar 1. Kawasan Sesar Pati dilihat dari Google Earth (Google Earth, 2020)



Gambar 2. Kawasan Sesar Pati dilihat dari Peta Geologi (Smyth et al, 2008)

Kawasan Sesar Pati berada di Zona Rembang yang merupakan suatu dataran tinggi terdiri dari *anticlinorium* yang berarah barat – timur sebagai hasil gejala tektonik Tersier Akhir yang membentuk perbukitan dengan elevasi yang relatif tidak tinggi yaitu rata – rata kurang dari 500 m (Pringgoprawiro, 1983). Cekungan Jawa Timur dikelompokkan ke dalam tiga konfigurasi struktur utama, yaitu *North Platform*, *Central Deep*, dan *Southern Uplift* (Satyana et al., 2003). *Graben*, *half-graben*, dan sesar-sesar hasil *rifting* telah dihasilkan pada periode ekstensional, yaitu pada Paleogen. Selanjutnya periode kompresi dimulai pada Miosen awal yang mengakibatkan reaktivasi sesar-sesar yang telah terbentuk sebelumnya pada periode ekstensional. Reaktivasi tersebut mengakibatkan pengangkatan dari *graben-graben* yang sebelumnya terbentuk menjadi tinggian yang sekarang disebut *central high* (Firdaus, 2018).



Gambar 3. Pembagian Zona Fisiografi Jawa Timur Utara Menurut Bemmelen tahun 1949 (Firdaus, 2018)

Sesar Pati merupakan salah satu sesar besar yang ada di wilayah Jawa Tengah. Jika Sesar Pati mengalami pergerakan, maka sesar tersebut dapat memicu gempa bumi yang dapat dirasakan di beberapa wilayah yang dilalui oleh Sesar Pati. Pergerakan sesar dapat diketahui dari *strike dip* sesar dan tipe sesar nya, sehingga kegiatan identifikasi sesar perlu dilakukan agar pergerakan Sesar Pati dapat diketahui dan sebagai langkah awal dalam kegiatan mitigasi untuk meminimalisir dampak dari aktivitas Sesar Pati yang akan dirasakan oleh masyarakat sekitar. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui tipe Sesar Pati dan *strike dip* nya adalah metode gravitasi satelit dengan menggunakan analisis *First Horizontal Derivative* dan *Second Vertical Derivative*. Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe Sesar Pati, arah *strike* dan *dip* dari Sesar Pati, serta mengetahui hasil penggunaan gravitasi stelit untuk identifikasi sesar besar.

First Horizontal Derivative (FHD) atau Turunan Mendatar Pertama mempunyai nama lain yaitu *Horizontal Gradient*. *Horizontal gradient* dari anomali gayaberat yang disebabkan oleh suatu *body* batuan, cenderung untuk menunjukkan batas dari *body* batuan tersebut (Zaenudin, A., et al., 2013), sehingga metode *horizontal gradient* dapat digunakan dalam menentukan lokasi batas kontak untuk kontras densitas horisontal dari data gaya berat (Cordell, 1979 dalam Zaenudin, A, et al.,2013). Nilai FHD dapat dihitung melalui persamaan (1):

$$FHD = \frac{g_{(i+1)} - g_{(i)}}{\Delta x} \quad (1)$$

Second Vertical Derivative (SVD) bersifat sebagai *high pass filter*, sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau patahan naik (Hartati, A., 2012). Penentuan nilai SVD menggunakan turunan kedua seperti pada persamaan (2):

$$SVD = \frac{g_{(i+1)} - 2g_{(i)} + g_{(i-1)}}{\Delta x^2} \quad (2)$$

Keterangan:

$g_{(i)}$ = Nilai anomali gravitasi (mgal)

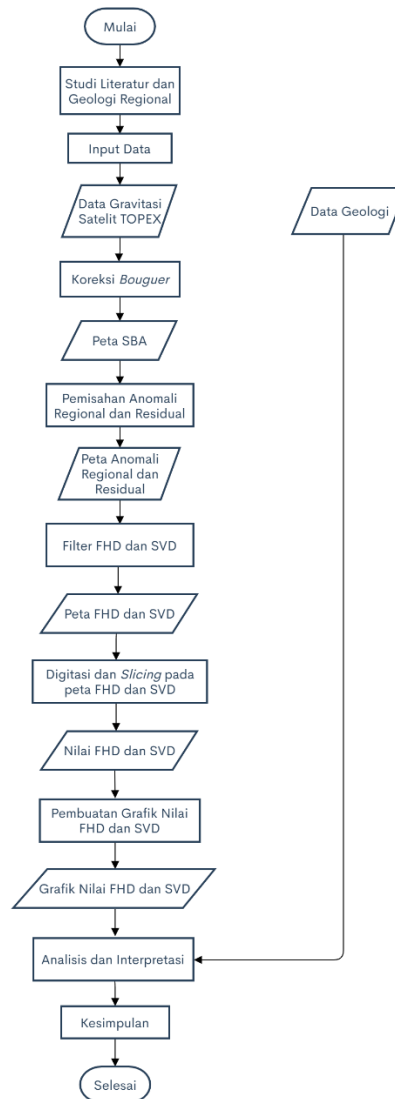
Δx = Selisih antara jarak pada lintasan (m)

2. METODE PENELITIAN

Lokasi kawasan Sesar Pati berada pada koordinat 6°52'18.2"S 110°36'50.5"E dan 6°59'29.0"S 110°48'42.2"E. Data anomali gravitasi dan data topografi di kawasan Sesar Pati diperoleh dari citra satelit yang dapat diakses di website TOPEX. Data anomali gravitasi yang didapatkan dari TOPEX sudah terkoreksi free air (G free air). Kemudian data tersebut diolah Kembali untuk mendapatkan nilai SBA (*Simple Anomaly Bouger*) menggunakan persamaan (3):

$$SBA = g_{free\ air} - (0,04192 \times Ketinggian \times densitas)$$

Setelah memperoleh nilai SBA, langkah – langkah yang dilakukan selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4, yang berturut – turut adalah mem-*plotting* data SBA, memisahkan anomali regional dan residual dari data SBA, melakukan metode FHD dan SVD, melakukan digitasi pada FHD dan SVD, melakukan *slicing* FHD dan SVD, membuat grafik dari nilai FHD dan SVD, kemudian melakukan interpretasi. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi surfer 16 dan Microsoft Excel. Aplikasi surfer 16 digunakan untuk mem-*plotting* data SBA, memisahkan anomali regional dan residual dari data SBA, melakukan metode FHD dan SVD, melakukan digitasi pada FHD dan SVD, serta melakukan *slicing* FHD. Sedangkan, aplikasi Microsoft Excel digunakan untuk membuat grafik dari nilai FHD dan SVD.



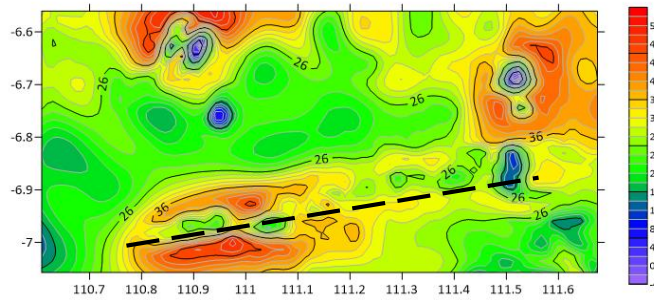
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengolahan data sesuai dengan diagram alir penelitian, didapatkan hasil pengolahan sebagai berikut:

3.1 Peta Simple Anomaly Bouguer (SBA)

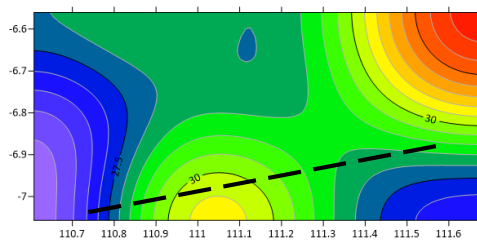
Gambar 5 merupakan peta kontur SBA yang menggambarkan persebaran nilai variasi anomali gravitasi di wilayah Sesar Pati. Anomali gravitasi tersebut disebabkan karena adanya kontras dari densitas batuan di bawah permukaan. Pada peta kontur tersebut, wilayah Sesar Pati memiliki nilai variasi anomali gravitasi dari -4 hingga 60 mgal. Zona yang berwarna merah pada peta kontur SBA menunjukkan bahwa zona tersebut memiliki anomali gravitasi yang relatif tinggi, sedangkan zona yang berwarna biru memiliki anomali gravitasi yang relatif rendah. Garis putus – putus pada peta kontur SBA diinterpretasikan sebagai *strike* sesar karena *strike* sesar memiliki anomali gravitasi yang relatif rendah dan terletak di antara anomali gravitasi yang relatif lebih tinggi. Anomali gravitasi yang rendah tersebut disebabkan oleh retakan pada batuan saat mengalami pergerakan sehingga densitas batuan yang ada di bagian *strike* sesar akan berkurang dibandingkan dengan densitas batuan di sekitarnya.



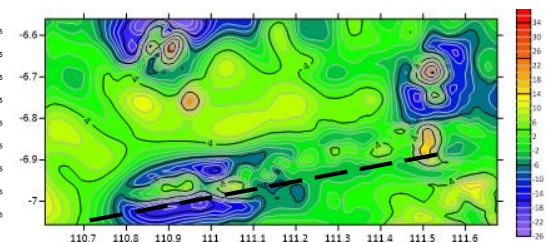
Gambar 5. Peta SBA & Garis Hitam Putus – Putus adalah Interpretasi Strike Sesar

3.2 Peta Anomali Regional dan Residual

Peta anomali regional pada Gambar 6 dan peta anomali residual pada Gambar 7 dihasilkan dari pemisahan anomali gravitasi di data SBA, karena data SBA yang dihasilkan dari pengolahan data masih dipengaruhi oleh efek gravitasi dangkal (anomali residual) dan efek gravitasi dalam (anomali regional), sehingga perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dengan anomali residual supaya objek yang ingin diamati dapat terlihat dengan jelas. Pemisahan anomali regional dilakukan di aplikasi Surfer 16 dengan menggunakan metode *filtering low pass* 3x3. Sedangkan, pemisahan anomali residual diperoleh dari program *math* di aplikasi Surfer 16 dengan cara mengurangkan nilai SBA dengan nilai anomali regional. Jika dilihat dari kesamaan kontur yang terbentuk di peta SBA dengan peta anomali regional dan anomali residual, bentuk kontur anomali residual hampir mirip dengan bentuk kontur peta SBA. Hal tersebut dapat terjadi karena efek gravitasi yang paling mendominasi pada anomali *bouguer* di peta SBA adalah efek gravitasi dangkal (anomali residual), sehingga struktur geologi yaitu Sesar Pati terletak pada kedalaman yang relatif dangkal.



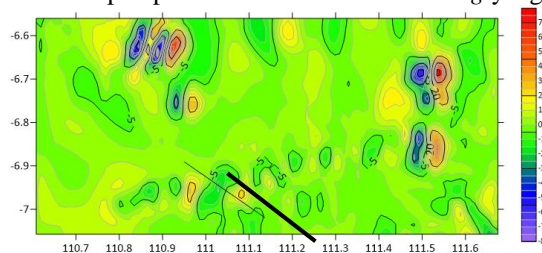
Gambar 6. Peta Anomali Regional & Garis Hitam Putus – Putus adalah Interpretasi Strike Sesar



Gambar 7. Peta Anomali Residual & Garis Hitam Putus – Putus adalah Interpretasi Strike Sesar

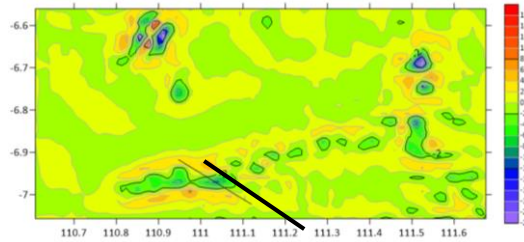
3.3 Peta FHD dan SVD

Gambar 8 merupakan peta FHD dari anomali residual yang dihasilkan dengan menggunakan *filter order first derivative prewitt row detector* pada aplikasi Surfer 16. Garis hitam pada peta merupakan garis *slicing* pada zona yang diinterpretasikan sebagai zona Sesar Pati. Proses *slicing* tersebut akan menghasilkan data *slicing*, yang mana data tersebut akan digunakan untuk interpretasi batas dari keberadaan Sesar Pati berdasarkan variasi lateral dari zona anomali gravitasi. Batas keberadaan sesar tersebut dapat dilihat dari nilai maksimum FHD. Perubahan pada nilai FHD maksimum ke nilai FHD minimum dan sebaliknya, menunjukkan adanya batas perbedaan dari densitas batuan secara lateral. Selain itu, peta FHD juga dapat digunakan untuk menentukan arah *strike* sesar yang terlihat dari interpretasi zona anomali sesar. Berdasarkan zona anomali sesar pada peta FHD, *strike* untuk Sesar Pati memiliki arah sekitar $N70^{\circ}E$ dan arah dip dapat dilihat dari orientasi *slicing* yang relatif ke arah timur laut.



Gambar 8. Peta FHD & Garis Hitam adalah Garis Slicing

Gambar 9 merupakan peta SVD dari anomali residual yang dihasilkan dengan menggunakan *filter matriks Elkins 5x5* pada Surfer 16. Nilai dari matriks Elkins 5x5 dapat dilihat di persamaan (4). Pada peta SVD juga dilakukan proses *slicing* untuk mengetahui tipe Sesar Pati berdasarkan variasi vertikal anomali gravitasi dari turunan kedua di sumbu Z. Kriteria dalam menentukan tipe sesar berdasarkan nilai SVD dapat dilihat di persamaan (5) dan (6) (Sriyanto, 2015).



Gambar 9. Peta SVD & Garis Hitam adalah Garis Slicing

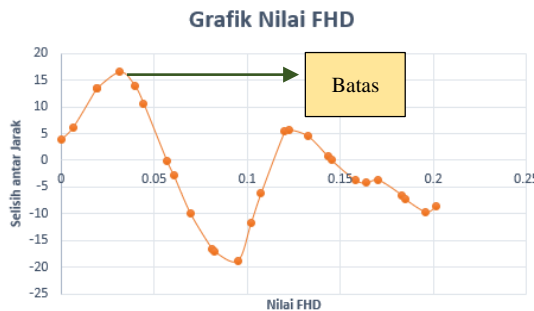
$$\begin{bmatrix}
 0 & -0,0833 & 0 & -0,0833 & 0 \\
 -0,0833 & -0,0667 & -0,0334 & -0,0667 & -0,0833 \\
 0 & -0,0334 & 1,0668 & -0,0334 & 0 \\
 -0,0833 & -0,0667 & -0,0334 & -0,0667 & -0,0833 \\
 0 & -0,0833 & 0 & -0,0833 & 0
 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 |\text{nilai SVD minimum}| > |\text{nilai SVD maksimum}| & \quad \text{merupakan patahan naik} \\
 |\text{nilai SVD minimum}| < |\text{nilai SVD maksimum}| & \quad \text{merupakan patahan normal}
 \end{aligned} \quad (5)$$

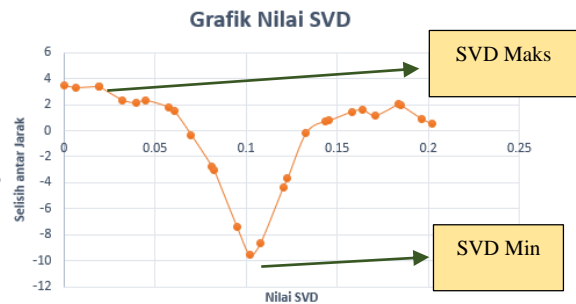
(6)

3.4 Grafik Nilai FHD dan SVD

Data *slicing* yang didapatkan dari FHD dan SVD kemudian diolah di Microsofts Excel sehingga didapatkan hasil berupa grafik. Berdasarkan grafik Nilai FHD pada Gambar 10, didapatkan batas sesar yang ditunjukkan oleh nilai FHD maksimum yang ditandai dengan garis berwarna hijau. Sedangkan, penentuan jenis patahan dapat dilihat dari grafik SVD pada Gambar 11. Grafik SVD menunjukkan nilai maksimum sekitar 3,8 dan nilai minimum yang ditunjukkan pada grafik sekitar -10. Apabila dibuat perbandingan antara nilai minimum SVD dengan nilai maksimum SVD, maka hasil *slicing* memiliki $|\text{nilai SVD minimum}| > |\text{nilai SVD maksimum}|$. Oleh karena itu, sesuai dengan kriteria jenis sesar dalam SVD daerah kawasan Sesar Pati termasuk ke dalam sesar naik dengan arah strike sekitar N70°E. Kemudian, arah dip dari sesar tersebut dapat dilihat dari orientasi *slicing* yang relatif ke arah timur laut.



Gambar 10. Grafik Nilai FHD



Gambar 11. Grafik Nilai SVD

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Sesar Pati merupakan tipe sesar naik dan hasil tersebut juga sudah sesuai dengan data di peta geologi. *Strike* sesar yang dimiliki oleh Sesar Pati berarah sekitar N70°E dengan dip cenderung ke arah timur laut. Kemudian, penelitian ini juga menyimpulkan bahwa data gravitasi satelit seperti data TOPEX sudah cukup bagus untuk mengidentifikasi sesar di wilayah Sesar Pati, khususnya untuk sesar besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada *website* penyedia data gravitasi satelit yaitu TOPEX. Selanjutnya, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada semua pengajar di Geosains Universitas Indonesia yang telah mengajarkan ilmu geosains serta cara pengolahan data gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W.V. (1949). *The Geology of Indonesia, Vol IA General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos*. Martinus Nijhoff, The Haque, Netherlands, 732 p.
- Brandsen, P.J.E., & Matthews, s.j. (1992, Agustus). Structural and Stratigraphic Evolution of the East Java Sea, Indonesia. In *Indonesia Petroleum Association, Proceeding the 21st Annual Convention, Jakarta* (pp. 417 – 453).
- Firdaus, Septian & Setianto, Agung. (2018, April). Interpretasi struktur Geologi Berdasarkan Citra Landsat 8, SRTM, dan Anomali Medan Gravitasi Satelit di Cekungan Jawa Timur Utara. In *Prosiding Seminar Nasional Geotik 2018*. (pp 193-204). Yogyakarta.
- Hartati, Anita. (2012). *Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa Derivative Metode Gaya Berat di Pulau Sulawesi*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Pringgoprawiro, H. (1983). *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru*. Desertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Satyana, A.H., & Djumlati. (2003, September). Oligo-Miocene Carbonates of the East Java Basin, Indonesia: Facies Definition Leading to Recent Significant Discoveries. In *American Association Of Petroleum Geologists (AAPG) International Conference and Exhibition Barcelona* (pp. 7). Spain.
- Smyth, H.R., Hall, Robert., & Nichols, G.J. (2008). *Cenozoic Volcanic Arc History Of East Java, Indonesia : The Stratigraphic Record Of Eruptions on an Active Continental Margin*. The Geological Society Of America Special Paper 436. UK.
- Sriyanto et al. (2016, Oktober). Identifikasi Patahan Mikro Penyebab Gempa Bumi Tarakan 21 Desember 2015. In *Seminar Nasional Fisika* (pp. 79-84). Jakarta.
- Zaenudin, A., Sarkowi, M., dan Suharno. (2013, November). Pemodelan Sintetik Gradien Gaya Berat Untuk Identifikasi Sesar. In *Seminar Nasional Sains & Teknologi V* (pp. 269-277). Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik, UNILA.