

Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Gunung Tandikat Menggunakan Metode Gravitasi Berdasarkan Data Satelit

Wildah Trimulyati*, Ardian Putra

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 29 Mei 2022
Direvisi: 1 Juli 2022
Diterima: 4 Juli 2022

Kata kunci:

bawah permukaan
derivative
gunung tandikat
metode gravitasi
TOPEX

Keywords:

subsurface
derivative
tandikat mountain
gravity method
TOPEX

Penulis Korespondensi:

Wildah Trimulyati
Email: wildahtrmlyt@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan identifikasi struktur bawah permukaan sekitar Gunung Tandikat dengan metode gravitasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis batuan dan patahan bawah permukaan dengan anomali bouguer lengkap. Data yang digunakan merupakan data *Free Anomaly Air* (FAA) dan topografi dari web TOPEX dengan total titik pengamatan berjumlah 49 titik. Data FAA dan Topografi diolah menggunakan *software* global mapper, oasis montaj dan Ms. Excel. Hasil dari *slicing* 2D daerah penelitian terdiri dari batuan dasar dan akibat aktivitas vulkanik. Batuan tersebut terdiri dari batuan andesit Kaldera Maninjau dengan densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$, tuff lapili dengan densitas $2,12 \text{ g/cm}^3$, batuan *lavas* atau breksi gunung api dengan densitas $2,9 \text{ g/cm}^3$, batuan Sekis dengan densitas $2,64 \text{ g/cm}^3$, batuan *Limestone* dengan densitas $1,93 \text{ g/cm}^3$. Dugaan keberadaan panas berjarak $\pm 3,5 \text{ km}$ dari wisata air yang ditandai dengan keberadaan batuan breksi gunung api. Analisis *derivative* dilakukan untuk menentukan jenis dan lokasi patahan pada tiga lintasan. Hasil lintasan digitasi pada *First Horizontal Derivative* dan *Second Vertical Derivative* didapat empat patahan, dengan tiga patahan normal dan sisanya merupakan patahan naik. Patahan yang berada di bawah permukaan tersebut diduga sebagai jalur sirkulasi hidrotermal pada Gunung Tandikat dan Singgalang.

In this study, the identification of subsurface structures around Mount Tandikat was carried out using the gravity method. This study aims to identify rock types and subsurface faults with complete bouguer anomalies. The data used are Free Anomaly Air (FAA) data and topography from the TOPEX web with a total of 49 observation points. FAA and topographic data were processed using global mapper software, oasis montaj and Ms. Excel. The results of the 2D slicing of the study area consist of bedrock and due to volcanic activity. This rock consists of Maninjau Caldera andesite with a density of 2.4 g/cm^3 , lapilli tuff with a density of 2.12 g/cm^3 , lava or volcanic breccia with a density of 2.9 g/cm^3 , schist rock with a density of 2.64 g/cm^3 , Limestone with a density of 1.93 g/cm^3 . The allegation of heat is $\pm 3.5 \text{ km}$ from water tourism which is marked by the presence of volcanic breccia rocks. Derivative analysis was carried out to determine the type and location of the faults on the three trajectories. The results of the digitization trajectory on the First Horizontal Derivative and Second Vertical Derivative obtained four faults, with three normal faults and the rest ascending faults. The fault below the surface is thought to be a hydrothermal circulation path in Mount Tandikat and Singgalang.

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Penggunaan listrik nasional terus meningkat setiap tahunnya. Di Indonesia sebesar 85,31% atau setara dengan 60,485 Mw dari jumlah total energi listrik yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil. Namun, seiring bertambahnya waktu bahan ini akan sulit didapatkan dan akan membutuhkan uang yang tidak sedikit untuk mengekstraknya, karena termasuk bahan yang tidak terbarukan (Glassley, 2015). Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan bahan pengganti yang lebih ramah lingkungan dan terbarukan. Selain listrik berasal dari bahan bakar fosil, sebanyak 14,69% dari jumlah total penggunaan listrik nasional berasal dari Energi Baru Terbarukan atau EBT salah satunya adalah energi panas bumi (ESDM, 2017).

Menurut Wardani (2017) energi panas bumi merupakan energi yang berasal dari perut bumi, secara umum keberadaannya berasosiasi dengan keberadaan gunung api. Gunung api Tandikat, terletak di Sumatera Barat merupakan gunung *Stratovolcano*. Menurut nilai nilai *Base of Conductor* (BOC) di bawah puncak Gunung Tandikat, menunjukkan keberadaan updome. Pola tersebut berhubungan dengan keberadaan zona *upflow* dari sistem panas bumi di daerah tersebut (ESDM, 2017).

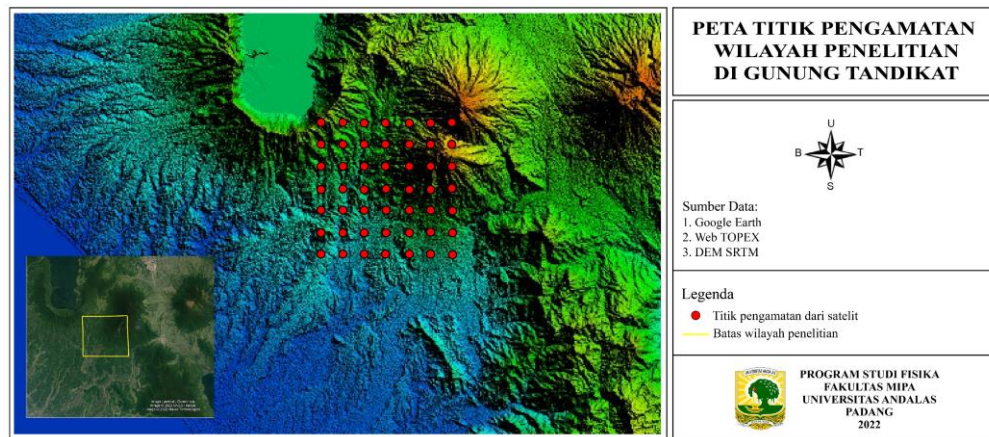
Pesebaran potensi panas bumi berasosiasi dengan patahan atau sesar aktif yang juga menandakan jenis satuan litologi dan sesuai dengan karakteristik batuan reservoir. Menurut Astuti et al. (2013), jenis batuan pada daerah panas bumi tersusun dari batuan shale, breksi gunung api, lava, dan basalt. Untuk mengeksplorasi struktur bawah permukaan bumi dapat menggunakan metode geofisika, salah satunya gravitasi. Metode gravitasi merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi gravitasi medan yang disebabkan oleh densitas bawah permukaan (Hinze et al. 2013). Dalam metode ini, nilai densitas dengan anomali gravitasi berbanding lurus. Kontribusi struktur geologi terhadap variasi nilai medan gravitasi di permukaan sangat kecil dibanding dengan nilai absolutnya, namun dengan peralatan yang baik variasi tersebut dapat terukur dari titik ke titik lain sehingga dapat dipetakan. Setelah didapat peta tersebut, dapat diinterpretasikan bentuk atau struktur bawah permukaan. Semakin besar nilai densitas batuan tersebut, semakin besar juga nilai anomali gravitasinya. Pengukuran dapat dilakukan dari permukaan, kapal, maupun di udara.

Nugraha et al. (2016) melakukan pendugaan struktur bawah permukaan kota Semarang dengan metode gravitasi berdasarkan nilai anomali gravitasi yang dihasilkan dari citra satelit. Tidak hanya struktur dan jenis batuan saja, lokasi sesar di bawah permukaan juga dapat diidentifikasi dengan metode ini. Aufia et al. (2020) melakukan analisis derivative metode gravitasi pada daerah penelitian "Y", hasil tersebut menyatakan terdapat tiga jenis sesar dari hasil slicing data. Analisis grafik FHD (First Horizontal Derivative) dan SVD (Second Vertical Horizontal) terhadap peta anomali lengkap dilakukan untuk mencari batasan dan jenis patahan yang ada (Fitriastuti et al. 2019). Yanis et al. (2019) telah membuktikan bahwa data gravitasi satelit memiliki respon yang sama dengan data gravitasi yang dilakukan secara langsung dengan alat.

Pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi struktur bawah permukaan Gunung Tandikat untuk mencari keberadaan panas bumi. Metode yang digunakan yaitu metode gravitasi satelit dengan data satelit geosat dari web TOPEX. Metode ini digunakan karena lebih efektif untuk wilayah yang lebih luas dan data mudah diakses.

II. METODE

Lokasi penelitian berada di sekitar Gunung Tandikat, Sumatera Barat dengan luas wilayah 100,045 km² dan 49 titik pengamatan dari satelit (titik warna merah pada Gambar 1) . Data yang digunakan merupakan data FAA (*Free Anomaly Air*) dan topografi yang diunduh pada web TOPEX https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_srtm15.cgi.



Gambar 1 Peta wilayah penelitian

2.1 Koreksi Terrain

Koreksi ini dilakukan untuk mengoreksi nilai gravitasi akibat efek bukit dan lembah pada daerah penelitian. Data yang didapat pada web diolah dengan tools *terrain correction* pada *software* Oasis Montaj.

2.2 Koreksi Bouguer Anomali Lengkap (ABL)

Koreksi Bouguer dilakukan untuk mengurangi pengaruh massa besar yang ada disekitar titik. Data FAA, Terrain dan Topografi diolah dengan tools *bouguer anomaly* pada Oasis Montaj.

2.3 Filterisasi Anomali Bouguer Lengkap

Filterisasi ini dilakukan untuk memisahkan nilai anomali residual, regional dan noise pada ABL dengan menggunakan analisis spektrum. Filter yang digunakan pada tahap ini adalah filter butterworth.

2.4 Interpretasi 2D

Data residual yang sudah didapat, dilakukan *slice* pada wilayah yang melintas pada anomali tinggi ke rendah. *Slice* dilakukan untuk melihat struktur dan susunan batuan dalam 2D. Pembuatan 2D dilakukan dengan menyamakan nilai gravitasi dengan densitas batuan hingga didapat nilai *error* di bawah 5%.

2.5 Analisis Derrivative

Analisis *derrivative* berupa *first horizontal derrivative* dan *second vertical derrivative* dilakukan untuk menentukan titik dan jenis patahan pada bawah permukaan. Hubungan nilai SVD dianalisis untuk melihat jenis patahan yang terekam.

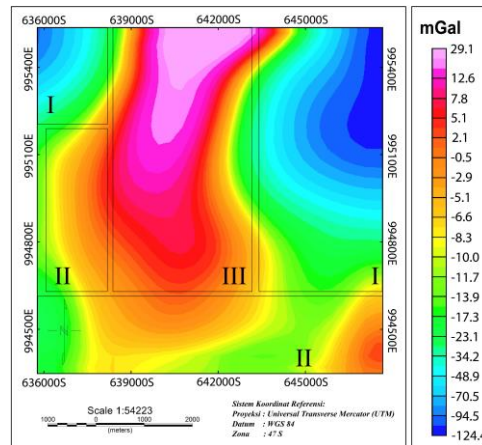
2.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap hubungan lokasi penelitian, struktur bawah permukaan, grafik analisis *derrivative* dengan keberadaan panas bumi di sekitar Gunung Tandikat.

III. HASIL DAN DISKUSI, (STYLE TEMPLATE I. HEADING 1)

3.1 Anomali Bouguer Lengkap

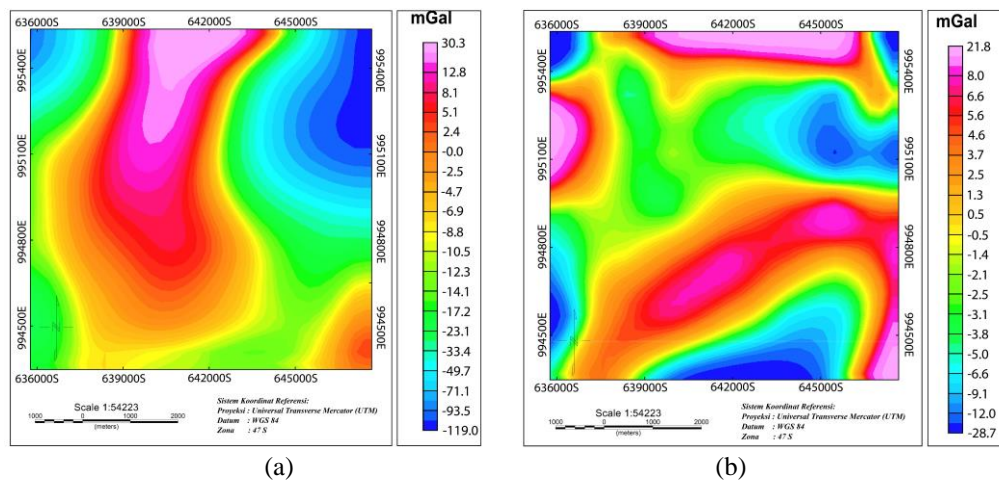
Gambar 2 menunjukkan nilai anomali bouguer pada kisaran -124,4 mGal hingga 29,1 mGal yang dibedakan menjadi tiga zona. Pembagian tiga zona dilakukan berdasarkan nilai rentang anomali bouguer lengkap yang didapat. Zona I berada di puncak hingga kaki gunung tandikat dan kaldera maninjau dengan rentang -124,4 mGal hingga -17,3 mGal. Zona II pada rentang -13,9 mGal hingga -0,5 mGal, didominasi pada bagian selatan wilayah penelitian. Zona III berada di wilayah *landslide* gunung tandikat dengan rentang 2,1 mGal hingga 29,1 mGal. Nilai negatif bouguer didapat karena melibatkan pengurangan daya tarik massa gunung. Pada daerah pengunungan yang lebih besar, hal tersebut terjadi karena kerapatan batuan di bawah lebih rendah dibandingkan daerah sekitar (Lowrie, 2007).



Gambar 2 Peta anomali bouguer lengkap

3.2 Filterisasi ABL

Berdasarkan hasil filterisasi *grid* ABL, didapat *grid* anomali residual dan regional. Kedua *grid* memiliki nilai anomali yang berbeda. *Grid* regional merupakan anomali yang dekat dengan permukaan, sedangkan residual merupakan anomali yang lebih dalam dengan batas ketinggian di atas permukaan laut. Nilai anomali regional lebih besar dibandingkan residual. Hal tersebut terjadi dikarenakan jarak titik amat dengan inti bumi mempengaruhi nilai anomali gravitasinya.

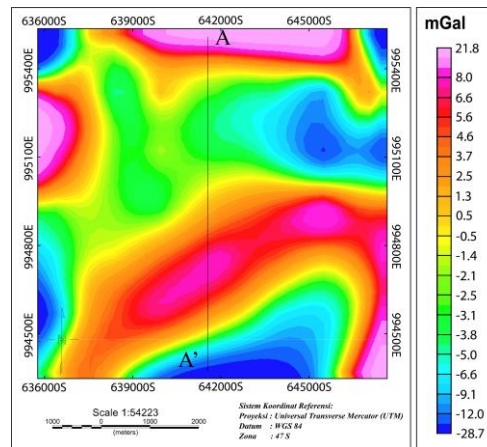


Gambar 3 (a) Peta anomali regional dan (b) Peta anomali residual

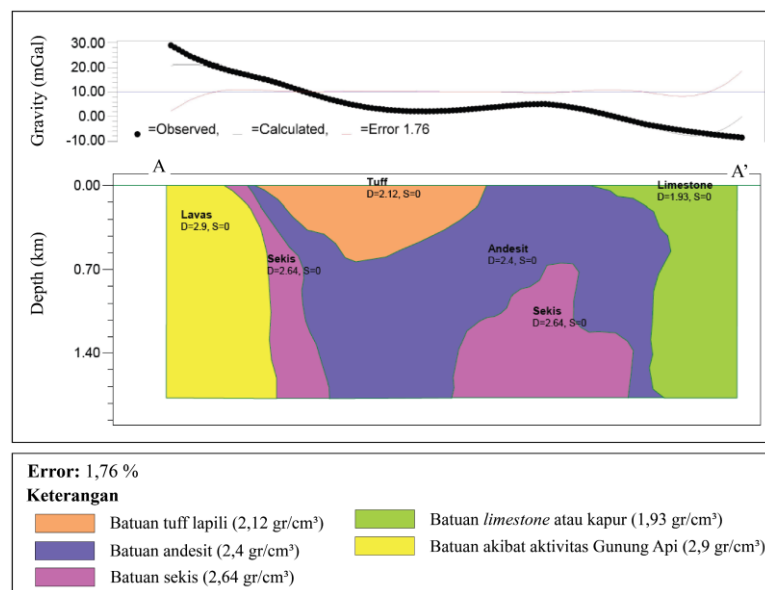
Gambar 3 menunjukkan hasil dari filterisasi ABL yaitu peta anomali regional dan residual. Peta regional dan ABL tidak terlalu berbeda, dikarenakan peta regional menunjukkan anomali gravitasi pada wilayah yang lebih dalam dan lebih luas. Berdasarkan Gambar 3(a) anomali regional berada pada rentang -199,0 hingga 30,3 mGal. Anomali residual berada pada rentang -28,7 mGal hingga 21,8 mGal yang ditunjukkan pada Gambar 3(b). Nilai anomali positif dan negatif yang didapat akibat adanya perbedaan densitas, posisi dan ketebalan batuan yang menghasilkan variasi nilai anomali di wilayah penelitian (Chasanah et al. 2021).

3.3 Interpretasi 2D

Interpretasi 2D dilakukan dengan memotong peta anomali residual. Peta anomali residual dipilih untuk melihat struktur bawah permukaan yang lebih dalam. Pada peta residual dilakukan *slicing* atau pemotongan dari titik A ke A' ditunjukkan pada Gambar 4. *Slicing* dilakukan pada wilayah yang melewati nilai anomali terbesar hingga terendah. *Line A - A'* merupakan sayatan yang digunakan untuk melihat lapisan geologi bawah permukaannya. Hasil dari *slicing* merupakan struktur bawah permukaan pada Gambar 5.



Gambar 4 Slicing A - A' peta residual



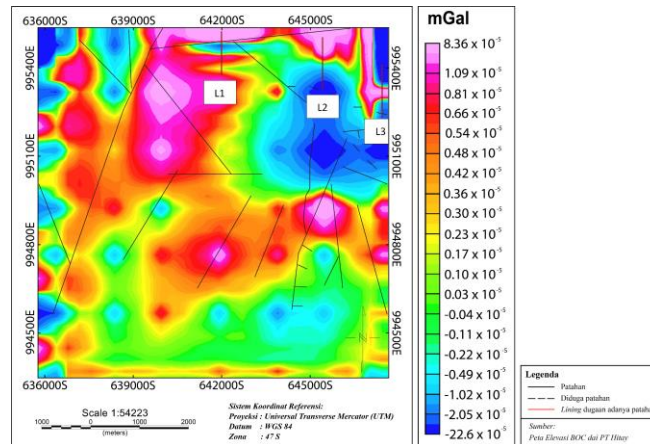
Gambar 5 Hasil interpretasi 2D line A - A'

Hasil interpretasi 2D pada Gambar 5 menunjukkan struktur bawah permukaan dengan ketinggian di atas permukaan laut. Didapat error sebesar 1,76% yang terdiri dari berbagai jenis dan ketebalan batuan yang berbeda. Kedalaman yang dihitung mencapai $\pm 1,8$ km dan memiliki densitas batuan dari $1,93 \text{ g/cm}^3$ hingga $2,9 \text{ g/cm}^3$. Sebagian besar batuan didominasi oleh batuan andesit dengan densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$ yang berasal dari andesit kaldera Maninjau. Terdapat tuff lapili akibat letusan Gunung Tandikat dan Singgalang dengan densitas $2,12 \text{ g/cm}^3$ hingga kedalaman 0,65 km. Pada sekitar titik A, terdapat batuan *lavas* atau breksi gunung api yang diduga berasal dari aktivitas Gunung Tandikat dengan densitas $2,9 \text{ g/cm}^3$. Diantara batuan *lavas* dan andesit terdapat batuan sekis dengan densitas $2,64 \text{ g/cm}^3$. Sekitar titik A' terdapat batuan *limestone* dengan densitas $1,93 \text{ g/cm}^3$ hingga kedalaman $\pm 1,8$ km. Hal tersebut sesuai dengan struktur geologi Gunung Tandikat, pada daerah penelitian sebagian besar berada pada batuan andesit kaldera maninjau namun batuan tersebut tertutup oleh tuff lapili akibat letusan Gunung Tandikat (Hosobuchi, 2021). Dugaan keberadaan panas bumi berada pada titik A, bagian barat laut Gunung Tandikat. Hal tersebut didukung dengan keberadaan wisata air panas dengan jarak $\pm 3,5$ km dari titik A.

3.4 Analisis Derivative

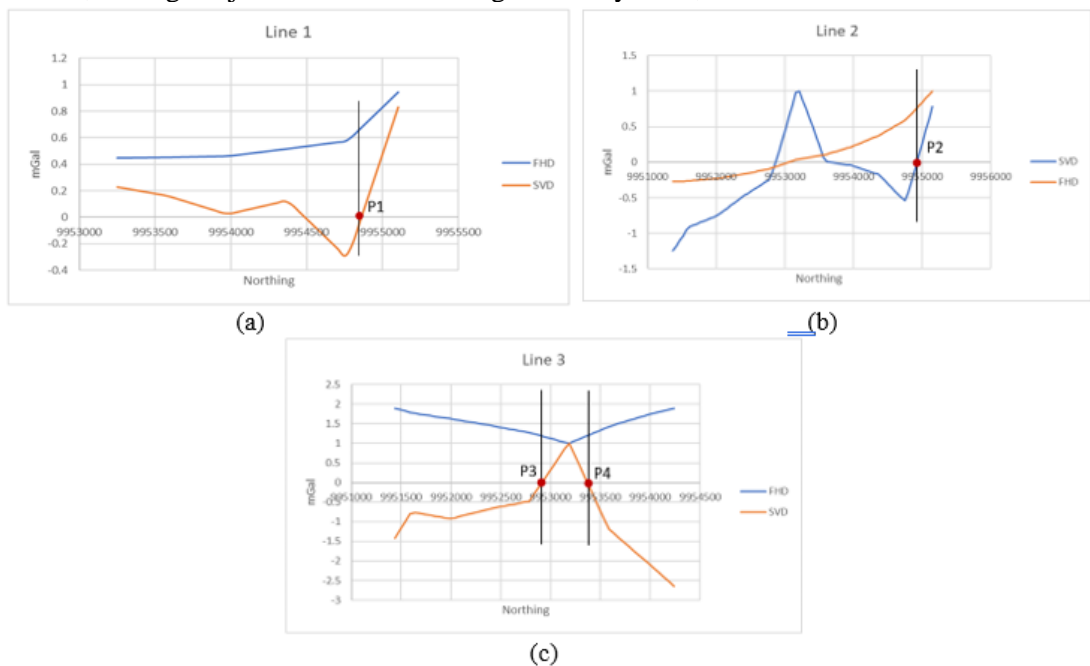
Analisis derivative dilakukan dengan membandingkan grafik SVD dan FHD. Penentuan keberadaan patahan dengan membandingkan *grid* SVD dan peta elevasi BOC Gunung Tandikat. Pada Gambar 6 garis hitam menunjukkan patahan yang sudah teridentifikasi sebelumnya dan garis merah merupakan daerah yang dilewati dugaan patahan di bawah permukaan. Keberadaan patahan dapat

ditandai dengan nilai anomali gravitasi tertinggi dan terendah yang saling berhimpit pada *grid* SVD (Permana, 2020).



Gambar 6 Lokasi *lining* pada peta SVD

Lining dilakukan untuk melihat grafik FHD dan SVD untuk menentukan jenis patahannya. Pada Gambar 6 terdapat tiga line yang nilai tertinggi dan terendah saing berhimpit. Jarak dari *line* 1 ke *line* 2 sebesar 3,573 km, sedangkan jarak antara *line* 2 dengan *line* 3 yaitu 1,577 km.



Gambar 7 Grafik FHD dan SVD (a) *line* 1 (b) *line* 2 (c) *line* 3

Pada *line* 1 terdapat satu struktur patahan yang ditandai dengan P1 pada Gambar 7(a). Berdasarkan nilai SVD, P1 merupakan jenis patahan normal karena menunjukkan nilai SVD minimum lebih kecil dibanding nilai SVD maksimum dan melewati patahan *landslide* gunung Tandikat. Pada Gambar 7(b) berdasarkan nilai SVD, P2 merupakan jenis patahan naik karena nilai SVD minimum lebih besar dibanding SVD maksimum. Patahan terletak pada sisi barat daya Gunung Singgalang. Sedangkan pada Gambar 7(c) *line* 3 menunjukkan dua jenis patahan. P3 dan P4 merupakan patahan naik karena nilai SVD minimum lebih besar dibanding SVD maksimum. Kedua patahan terletak sebelah tenggara gunung singgalang. Patahan-patahan diperkirakan berada pada kedalaman yang dangkal menuju dalam, dikarenakan peta SVD tidak terlalu beda dengan peta CBA (Syafnur and Sunantyo, 2019). Patahan-patahan tersebut diduga merupakan patahan sebagai jalur sirkulasi hidrotermal pada Gunung Tandikat dan Singgalang. Patahan di bawah permukaan gunung merupakan jalur keluarnya investasi panas bumi (Amalisana et al. 2017)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil koreksi didapat nilai anomali bouguer pada kisaran -124,4 mGal hingga 29,1 mGal, nilai negatif didapat karena efek pengurangan daya tarik massa gunung. Hasil pemodelan 2D hingga kedalaman $\pm 1,8$ km tersusun dari batuan dasar dan akibat aktivitas gunung Tandikat. Keberadaan panas bumi diduga berada pada bagian barat laut Gunung Tandikat yang ditandai dengan keberadaan breksi gunung api serta adanya wisata mata air panas dengan jarak $\pm 3,5$ km. Berdasarkan hasil analisis FHD dan SVD, pada daerah penelitian terdapat empat patahan. Patahan tersebut diduga sebagai jalur sirkulasi hidrotermal pada Gunung Tandikat dan Singgalang.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalisana, B., Pin, T. and Saraswati, R. (2017), "Penentuan Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Hubungannya dengan Kondisi Geologi Gunung Lawu", *8th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 300–305.
- Astuti, T.Y., Maryanto, S. and Purnomo, S. (2013), "Pendugaan Jenis Batuan di Daerah Panasbumi Tiris Kabupaten Probolinggo Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gayaberat", *Brawijaya Physics Student Journal*, pp. 1–4.
- Aufia, Y.F., Karyanto, K. and Rustadi, R. (2020), "Pendugaan Patahan Daerah 'Y' Berdasarkan Anomali Gayaberat Dengan Analisis Derivative", *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Vol. 5 No. 1, pp. 75–88.
- Chasanah, U., Febriani, S.D.A. and Minarto, E. (2021), "Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunung Merapi Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit", *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, Vol. 18 No. 1, p. 25.
- ESDM, K. (2017), *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Direktorat Panas Bumi, Jakarta.
- Fitriastuti, A., Aristo and Putri, F.F. (2019), "Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Gaya Berat Analisis First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical derivative (SVD), Guna Upaya Mitigasi Bencana Gempabumi di Kabupaten Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah", *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12*.
- Glassley, W.. (2015), *Geothermal Energy Renewable Energy and the Environment*, CRC Press, Boca Raton.
- Hinze, W., Frese, R.R.B.. and Saad, A.. (2013), *Gravity and Magnetic Exploration Principles, Practices, and Applications*, Cambridge University Press, New York.
- Hosobuchi, M.N., Chigira, M., Lim, C. and Komoo, I. (2021), "Geological history controlling the debris avalanches of pyroclastic fall deposits induced by the 2009 Padang earthquake, Indonesia: The sequential influences of pumice fall, weathering, and slope undercut", *Engineering Geology*, Elsevier B.V., Vol. 287 No. March, p. 106104.
- Lowrie, W. (2007), *Fundamentals of Geophysics*, Edisi Kedu., Cambridge University Press, New York.
- Nugraha, P., Supriyadi and Yulianti, I. (2016), "Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Citra Satelit", *Unnes Physics Journal*, Vol. 5 No. 2, pp. 37–41.
- Permana, N.R. (2020), *Pemetaan Struktur Batuan Dasar Menggunakan Metode Energy Spectral Analysis – Multi Window Test (ESA – MWT) Data Gravitasi Pada Sub Cekungan Sakala*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jakarta.
- Syafnur, A. and Sunantyo, T.A. (2019), "Potensi airborne gravity untuk studi sesar", *Prosiding Seminar Nasional Geotik*, pp. 392–399.
- Wardani, R. (2017), "Energi Panas Bumi Ramah Terhadap Lingkungan Sekitar", *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan Dan Konservasi Energi*.
- Yanis, M., Marwan and Kamalia, N. (2019), "Aplikasi Satellite GEOSAT dan ERS Sebagai Metode Alternatif Pengukuran Gravity Ground Pada Cekungan Hidrokarbon di Pulau Timur", *Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 33 No. 2, pp. 64–68.