

APLIKASI METODE GAYABERAT DALAM PEMODELAN RESERVOAR PANAS BUMI GUNUNG PANCAR, BOGOR, JAWA BARAT

M. Latif Biantoro*^a, Ahmad Zaenudin^b, Reza Rizki^c

^aInstitut Teknologi Sumatera

^bUniversitas Lampung

^cInstitut Teknologi Sumatera

* E-mail: m.latif.biantoro.mlb@gmail.com

Abstract: *Research has been conducted in the Mt. Pancar area using gravity data to find out the Mt. Pancar geothermal reservoir model based on 2D and 3D model analysis. Mt. Pancar area has a potential geothermal source which is characterized by the appearance of manifestations on the surface in the form of Kawah Hitam, Kawah Merah, and Kawah Putih. The result show that the study area has a CBA value of 128 mGal to 168 mGal. The results of the 3D inversion model show a density value, the density which has a range of values from 2.28 g/cc to 2.63 g/cc indicated as the Mount Pancar geothermal reservoir zone which is at a depth of 900 meters below the surface. In 2D modeling, variations in rock density were obtained that indicate geothermal system areas including, rocks with a density of 2.56 g/cc identified as reservoir zones at depths of 900 to 1000 meters below the surface, rocks with densities between 1.65-2.10 g/cc were identified as clay cap zone, rocks with densities between 1.75-2.22 g/cc were identified as sedimentary rocks, and rocks with densities of 2.82 g/cc were identified as andesite rock intrusions. There is a fault structure in the 2D model that is identified based on SVD analysis.*

Keywords : *Geothermal, reservoirs, gravity anomalies, 3D and 2D models*

Abstrak: Telah dilakukan penelitian pada area Gunung Pancar menggunakan data gayaberat dengan tujuan untuk mengetahui model reservoir panas bumi Gunung Pancar berdasarkan analisa model 2D dan 3D. Gunung Pancar merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi sumber panas bumi yang ditandai dengan munculnya manifestasi di permukaan berupa Kawah Hitam, Kawah Merah, dan Kawah Putih. Daerah penelitian memiliki nilai CBA antara 128 mGal hingga 168 mGal. Hasil model inversi 3D memperlihatkan suatu nilai densitas, densitas yang memiliki rentang nilai antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc diindikasikan sebagai zona reservoir panas bumi Gunung Pancar yang berada pada kedalaman 900 meter di bawah permukaan. Dalam pemodelan 2D didapatkan variasi densitas batuan yang dapat menunjukkan area sistem geotermal diantaranya, batuan dengan densitas 2.56 g/cc diidentifikasi sebagai zona reservoir yang berada pada kedalaman 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan, batuan dengan densitas antara 1.65-2.10 g/cc diidentifikasi sebagai zona *clay cap*, batuan dengan densitas antara 1.75-2.22 g/cc diidentifikasi sebagai batuan sedimen, dan batuan dengan densitas 2.82 g/cc diidentifikasi sebagai intrusi batuan andesit. Terdapat struktur sesar dalam model 2D yang diidentifikasi berdasarkan analisa SVD.

Kata kunci : Panas bumi, reservoir, anomali gayaberat, model 3D dan 2D

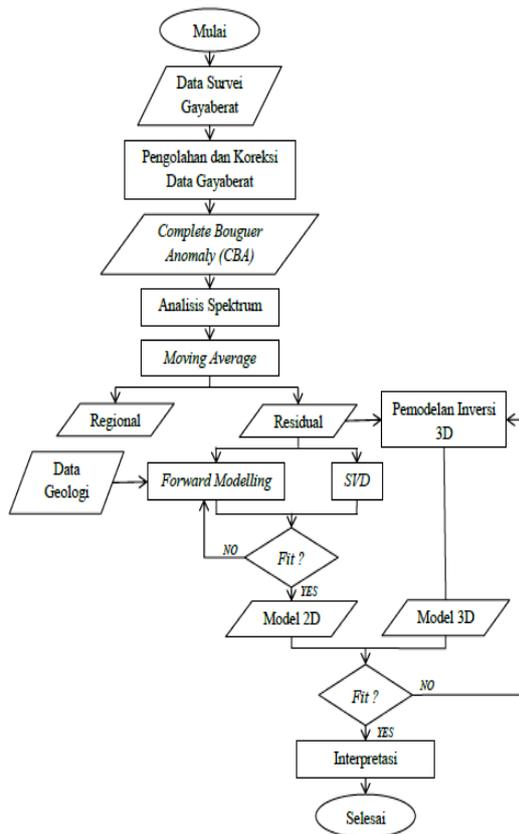
PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Potensi panas bumi di Indonesia tersebar sepanjang zona subduksi mulai dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi Utara hingga Maluku. Berdasarkan survei terbaru dari Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, telah teridentifikasi 331 titik potensi yang terdiri dari sumber daya sebesar 11.073 MW dan cadangan sebesar 17.506 MW

yang tersebar di 30 provinsi. Dari potensi panas bumi tersebut telah ditetapkan 70 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) dan lainnya merupakan wilayah terbuka (Kementerian ESDM, 2017). Salah satu wilayah yang memiliki potensi menjadi sumber panas bumi adalah wilayah yang berada di area Gunung Pancar, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Penelitian terkait potensi panas bumi pada area Gunung Pancar sebelumnya telah dilakukan oleh *Geothermal Laboratory* Universitas Indonesia dan PT. NewQuest Geotechnology dengan menggunakan metode *Audio-Frequency Magnetotelluric (AMT)*.

Pada penelitian ini dilakukan peninjauan kembali terkait model reservoir panas bumi di area Gunung Pancar dengan menggunakan metode gayaberat berdasarkan analisa model 2D dan 3D. Data gayaberat yang digunakan merupakan data pengukuran tahun 2009 dan 2011, dengan jumlah titik pengukuran adalah 97 titik.

METODE



Gambar 1. Diagram alir penelitian

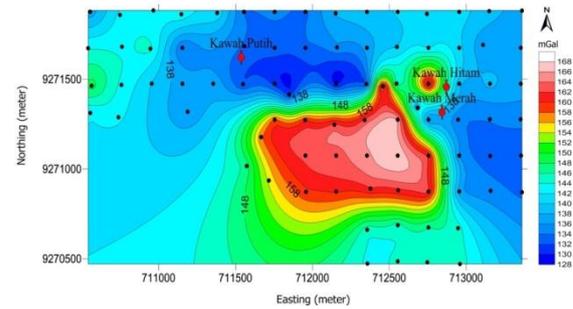
Data survei gayaberat yang telah diperoleh kemudian dilakukan proses pengolahan data yang bertujuan untuk menghilangkan faktor-faktor yang mempengaruhi data hasil pengukuran lapangan serta untuk mendapatkan peta *Complete Bouguer Anomaly (CBA)*. Setelah mendapatkan peta *CBA* kemudian dilakukan *filtering* untuk memisahkan zona regional dan residual dari daerah penelitian. Dalam penelitian ini juga dilakukan proses *SVD* untuk mengidentifikasi struktur sesar yang berada pada daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

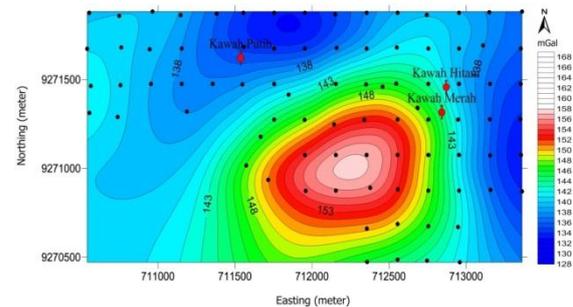
Peta CBA, Regional dan Residual

Peta *CBA* yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki rentang nilai anomali antara 128 mGal – 168 mGal (**Gambar 2**). Setelah dilakukan proses *filtering* pada peta *CBA* maka didapatkan hasil

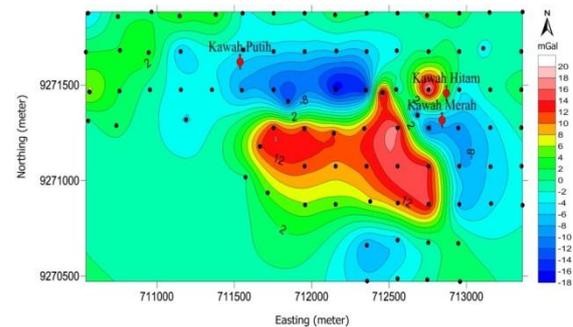
berupa peta regional dan residual (**Gambar 3 dan Gambar 4**).



Gambar 2. Peta CBA



Gambar 3. Peta anomali regional

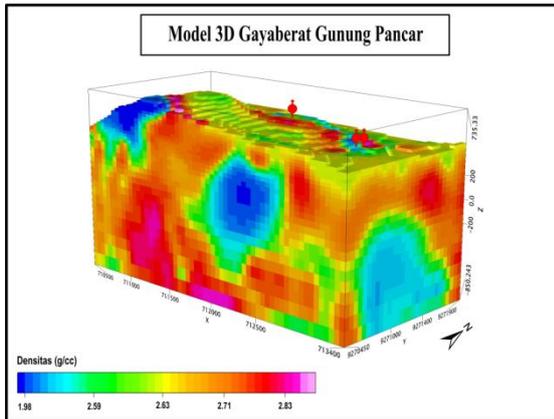


Gambar 4. Peta anomali residual

Dari peta CBA, regional, dan residual terlihat bahwa anomali tinggi mendominasi di bagian tengah daerah penelitian. berdasarkan informasi geologi daerah penelitian (Effendi dkk, 1998), daerah dengan anomali tinggi tersebut diidentifikasi sebagai intrusi batuan andesit.

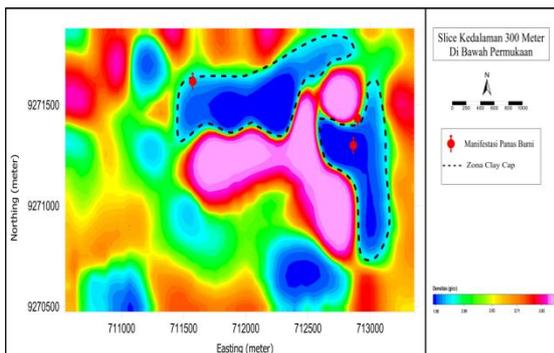
Pemodelan 3D dan 2D

Untuk memudahkan dalam proses interpretasi, maka dilakukan suatu pemodelan secara 3D dan 2D untuk mengidentifikasi model dan kedalaman reservoir panas bumi. **Gambar 5** merupakan hasil pemodelan 3D pada daerah penelitian yang menunjukkan distribusi kontras densitas bawah permukaan.

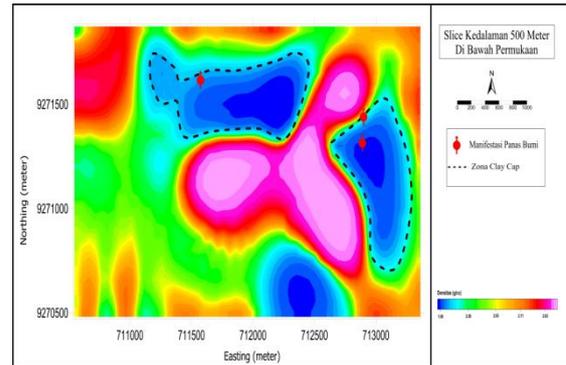


Gambar 5. Model 3D gayaberat Gunung Pancar

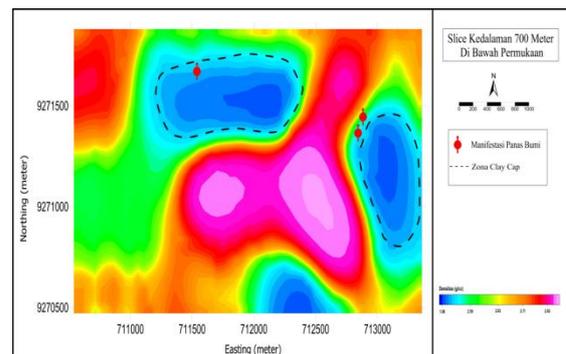
Model inversi 3D pada **Gambar 5** menunjukkan model dengan berbagai nilai densitas. Nilai densitas tinggi dikategorikan antara 2.71 g/cc hingga 2.93 g/cc yang ditunjukkan dengan warna merah hingga merah muda. Nilai densitas sedang dikategorikan antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc yang ditunjukkan dengan warna biru muda hingga warna hijau. Nilai densitas rendah dikategorikan antara 1.68 g/cc hingga 2.18 g/cc yang ditunjukkan dengan warna biru tua. Densitas yang memiliki nilai antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc diindikasikan sebagai zona reservoir panas bumi pada daerah penelitian. Untuk mengetahui kedalaman dan persebaran anomali yang terindikasi sebagai zona reservoir tersebut maka dilakukan proses *slicing* secara horizontal dan vertikal. Proses *slicing* secara horizontal dilakukan per-kedalaman pada model inversi 3D. Hasil *slicing* secara horizontal ditunjukkan pada **Gambar 6** sampai **Gambar 13**.



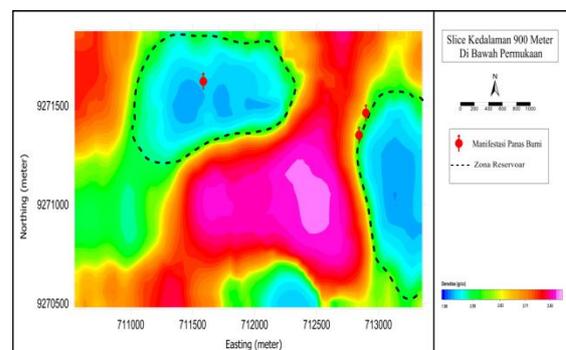
Gambar 6. *Slicing* kedalaman 300 meter di bawah permukaan



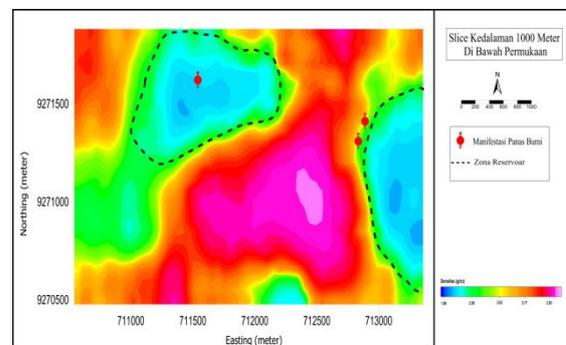
Gambar 7. *Slicing* kedalaman 500 meter di bawah permukaan



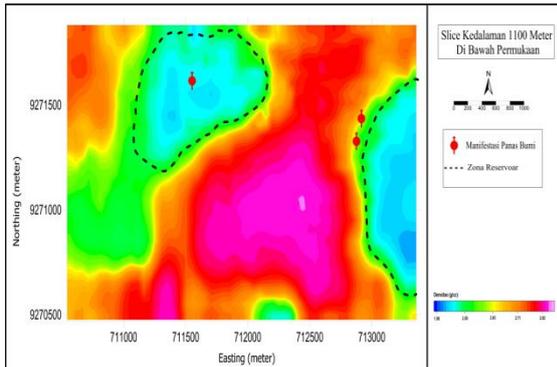
Gambar 8. *Slicing* kedalaman 700 meter di bawah permukaan



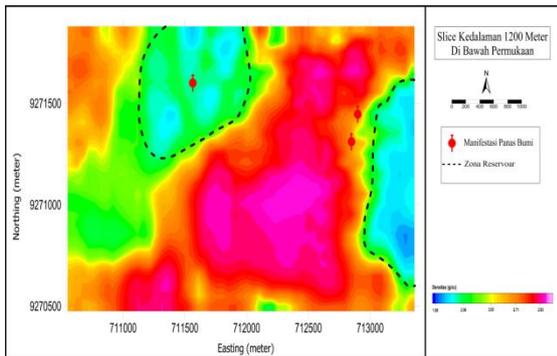
Gambar 9. *Slicing* kedalaman 900 meter di bawah permukaan



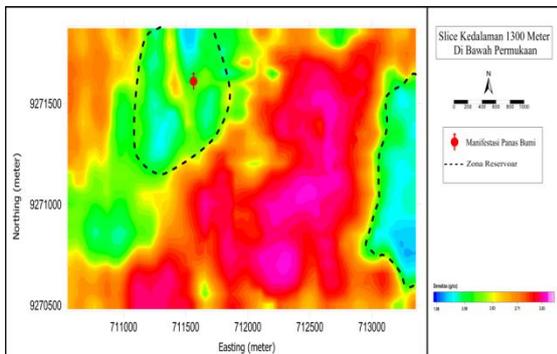
Gambar 10. *Slicing* kedalaman 1000 meter di bawah permukaan



Gambar 11. *Slicing* kedalaman 1100 meter di bawah permukaan



Gambar 12. *Slicing* kedalaman 1200 meter di bawah permukaan

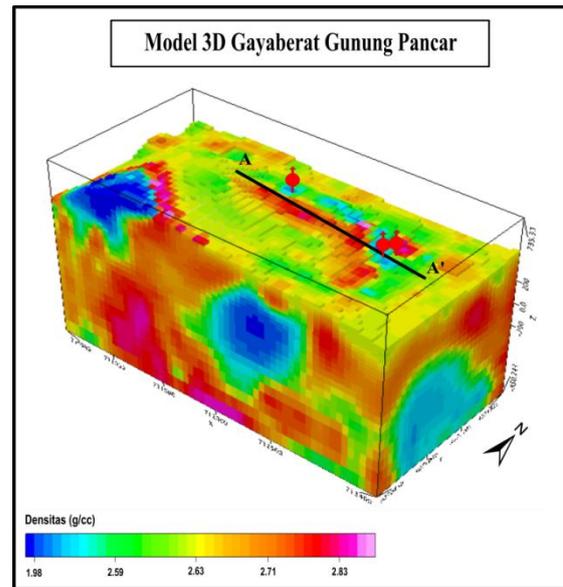


Gambar 13. *Slicing* kedalaman 1300 meter di bawah permukaan

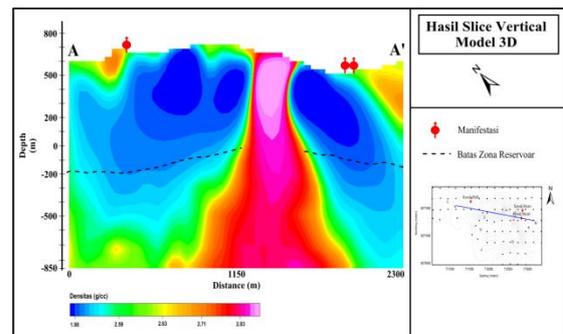
Berdasarkan hasil *slicing* yang telah dilakukan perkedalaman, terlihat bahwa pada kedalaman 900 meter di bawah permukaan (**Gambar 5.15**) anomali gayaberat menunjukkan densitas yang memiliki rentang nilai antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc yang tersebar di bagian Utara dan Timur dari daerah penelitian. Anomali dengan nilai densitas tersebut diindikasikan sebagai zona reservoir pada daerah penelitian dan memperlihatkan kemenerusan hingga kedalaman 1300 meter di bawah permukaan. Pada kedalaman 300 hingga 700 meter di bawah permukaan menunjukkan anomali dengan densitas rendah yang memiliki nilai antara 1.68 g/cc hingga 2.18 g/cc di arah Utara dan Timur dari daerah penelitian. Anomali

dengan nilai densitas rendah tersebut diindikasikan sebagai zona dari *clay cap*. Anomali dengan nilai densitas antara 2.71 g/cc hingga 2.93 g/cc yang ditandai dengan spektrum warna merah hingga merah muda diindikasikan sebagai intrusi batuan andesit pada daerah penelitian.

Proses *slicing* secara vertikal juga dilakukan pada model inversi 3D untuk melihat zona reservoir pada arah vertikal. **Gambar 14** menunjukkan lintasan pada model 3D yang akan dilakukan *slice* secara vertikal dan **Gambar 15** menunjukkan hasil *slice* model 3D secara vertikal.



Gambar 14. *Slice* lintasan A-A' pada model 3D

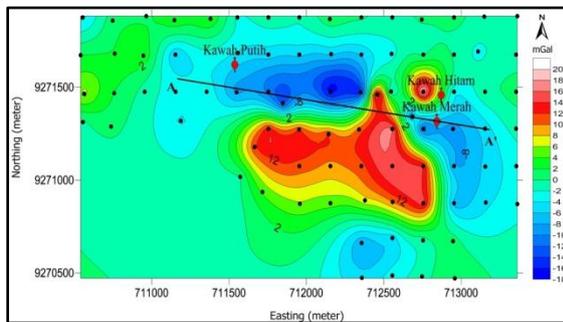


Gambar 15. Hasil *slice* model 3D secara vertikal pada lintasan A-A'

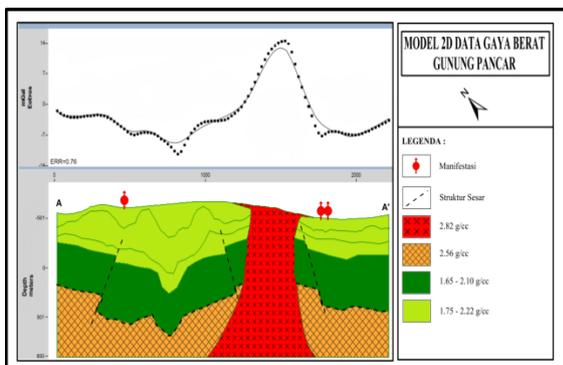
Gambar 15 adalah hasil *slice* model 3D secara vertikal yang dilakukan pada lintasan A-A'. Dari penampang tersebut terdapat nilai densitas yang bervariasi. Densitas rendah memiliki nilai antara 1.68 g/cc hingga 2.18 g/cc yang ditunjukkan oleh zona berwarna biru tua. Zona dengan densitas rendah tersebut diinterpretasikan sebagai zona *clay cap* yang berada pada kedalaman 300 hingga 700 meter di bawah permukaan. Densitas sedang memiliki nilai antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc

yang ditunjukkan oleh zona bewarna biru muda hingga hijau. Zona ini berada pada kedalaman antara 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan yang diidentifikasi sebagai zona reservoir pada daerah penelitian. Densitas tinggi memiliki nilai antara 2.71 g/cc hingga 2.93 g/cc yang ditunjukkan oleh zona bewarna merah hingga merah muda. Zona dengan nilai densitas tinggi diinterpretasikan sebagai intrusi batuan andesit yang berada pada daerah penelitian. Hasil pemodelan inversi 3D ini memiliki kesesuaian terhadap penelitian panas bumi Gunung Pancar yang telah dilakukan sebelumnya yaitu oleh Daud (2017) dan Hidayat (2019) dengan menggunakan data *AMT* dan Hakim (2019) dengan menggunakan data magnetik. Hasil dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa zona reservoir berada pada kedalaman antara 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan.

Dalam penelitian ini juga dilakukan proses pemodelan bawah permukaan secara 2D, yaitu dengan menentukan densitas batuan pada model yang dibuat dan mengkorelasikannya dengan data geologi pada daerah penelitian. **Gambar 16** menunjukan *slice* lintasan pada anomali residual yang digunakan dalam memodelkan bawah permukaan. Lintasan A-A' yang dibuat pada anomali residual tersebut memiliki titik lintasan yang sama terhadap lintasan A-A' pada model 3D yang dilakukan *slicing* secara vertikal.



Gambar 16. *Slice forward modelling* lintasan A-A'



Gambar 17. Model penampang 2D bawah permukaan lintasan A-A'

Model penampang bawah permukaan pada **Gambar 17** menunjukkan model sistem panas bumi di daerah penelitian dengan nilai densitas batuan penyusun yang bervariasi. Kedalaman maksimum pada pemodelan ini mencapai 1500 meter di bawah permukaan, sedangkan panjang lintasan dalam pemodelan ini mencapai 2300 meter. Berdasarkan informasi geologi (Effendi dkk, 1998), daerah penelitian didominasi oleh batuan sedimen dan ditemukan intrusi batuan berupa batuan andesit.

Batuan dengan nilai densitas 2.56 g/cc diidentifikasi sebagai zona reservoir pada daerah penelitian. Batas atas dari zona reservoir ditemukan pada kedalaman 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan. Batuan penyusun zona reservoir ini diidentifikasi sebagai batuan vulkanik yang telah mengalami alterasi. Menurut penelitian Daud (2017) menggunakan data *AMT* (*Audio-Frequency Magnetotelluric*), daerah yang diidentifikasi sebagai zona reservoir tersebut merupakan batuan ubahan propilitik dengan nilai resistivitas berkisar antara 20-60 ohm.m.

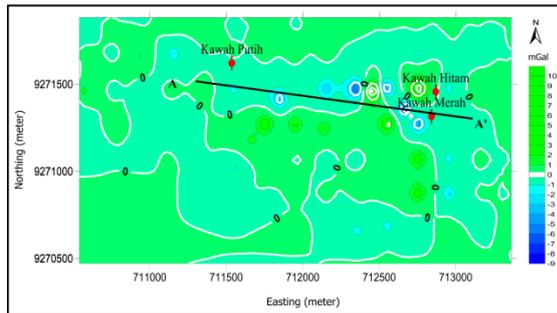
Batuan dengan nilai densitas antara 1.65-2.10 g/cc diidentifikasi sebagai zona *clay cap* dengan ketebalan lapisan mencapai 500 meter. Dari penelitian Daud (2017) dan Hidayat dkk (2019) menggunakan data *AMT*, daerah yang diidentifikasi sebagai zona *clay cap* tersebut terbentuk akibat adanya proses alterasi argilik dengan nilai resistivitas berkisar antara 1-10 ohm.m.

Batuan dengan nilai densitas antara 1.75-2.22 g/cc diidentifikasi sebagai batuan yang tidak teralterasi. Berdasarkan informasi geologi (Effendi dkk, 1998), jenis batuan yang tidak mengalami proses alterasi tersebut diidentifikasi sebagai batuan sedimen yang masuk ke dalam Formasi Jatiluhur. Dalam Formasi Jatiluhur, litologi batuan didominasi oleh jenis batuan serpih lempungan dan lempungan dengan sisipan batupasir kuarsa. Batuan dengan nilai densitas 2.82 g/cc diidentifikasi sebagai intrusi batuan andesit yang menerobos zona batuan lain hingga ke permukaan.

Hubungan SVD, Residual dan model 2D

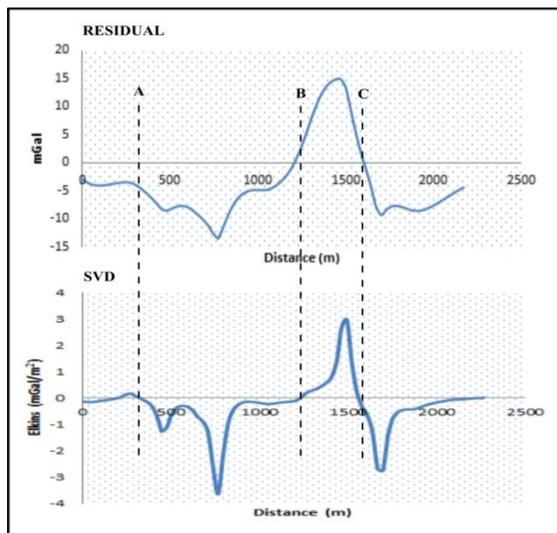
Metode *second vertical derivative* merupakan salah satu teknik filtering yang dibuat berdasarkan prinsip dasar dan teknik perhitungan yang telah dijelaskan oleh Henderson & Zeits (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Metode *SVD* umumnya digunakan untuk mengidentifikasi jenis sesar. Dalam penelitian ini menggunakan operator filter Elkins (1951) untuk mengidentifikasi jenis

sesar pada daerah penelitian. **Gambar 18** merupakan peta anomali SVD pada daerah penelitian.



Gambar 18. Peta anomali SVD

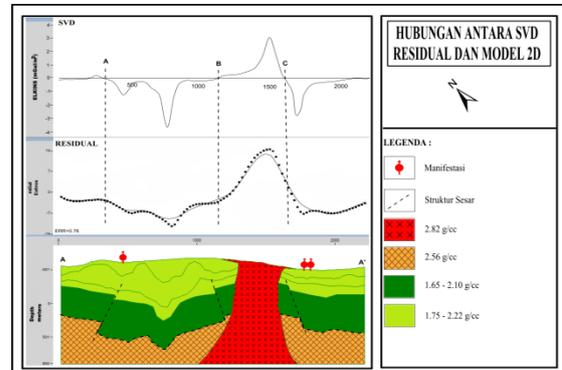
Dalam mengidentifikasi jenis patahan, maka dilakukan analisa penampang SVD pada lintasan A-A' yang ditunjukkan pada **Gambar 18**. Pada **Gambar 19** berturut-turut menunjukkan respon penampang anomali residual dan SVD pada lintasan A-A'. Pada penampang SVD bidang kontak sesar berada di nilai nol.



Gambar 19. Analisis SVD pada lintasan A-A'

Respon kurva SVD pada **Gambar 19** menunjukkan bahwa terdapat tiga titik yaitu A, B, dan C yang diduga merupakan suatu struktur sesar. Pada titik A, nilai absolut anomali SVD minimum yang relatif lebih besar daripada nilai anomali SVD maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah di titik A diduga terdapat suatu struktur sesar yang diidentifikasi sebagai sesar naik. Jenis sesar naik ini diindikasikan sebagai struktur pengontrol yang menyebabkan munculnya manifestasi panas bumi berupa kawah putih. Pada titik B, nilai absolut anomali SVD minimum yang relatif lebih besar daripada nilai anomali SVD maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah di titik B diduga terdapat suatu struktur sesar yang diidentifikasi

sebagai sesar naik. Pada titik C, nilai anomali SVD maksimum lebih besar daripada nilai absolut anomali SVD minimum. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah di titik C diduga terdapat suatu struktur sesar yang diidentifikasi sebagai sesar normal.



Gambar 20. Hubungan respon SVD, residual dan model

Gambar 20 menunjukkan hubungan antara respon anomali SVD, residual dan model pada lintasan A-A'. Pada penampang SVD, bidang kontak sesar berada di nilai nol. Respon anomali SVD tersebut kemudian dikorelasikan terhadap respon anomali residual dan model. Dari hasil respon anomali SVD menunjukkan tiga titik yaitu titik A, B, dan C yang diindikasikan sebagai struktur sesar.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan analisis data gayaberat yang telah dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Complete Bouguer Anomaly (CBA)* pada daerah penelitian memiliki nilai antara 128 mGal hingga 168 mGal. Daerah dengan anomali tinggi memiliki nilai antara 156 mGal–168 mGal yang mendominasi di bagian tengah daerah penelitian. Anomali rendah memiliki nilai antara 128 mGal – 136 mGal yang menyebar di bagian Utara dan Timur daerah penelitian.
2. Berdasarkan pemodelan inversi 3D gayaberat, batas atas zona reservoir ditemukan berada pada kedalaman 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan yang memiliki nilai densitas antara 2.28 g/cc hingga 2.63 g/cc.
3. Berdasarkan pemodelan 2D (*forward modelling*), batuan dengan nilai densitas 2.56 g/cc diidentifikasi sebagai zona reservoir yang berada pada kedalaman sekitar 900 hingga 1000 meter di bawah permukaan. Batuan dengan nilai densitas antara 1.65-2.10 g/cc diidentifikasi sebagai zona *clay cap*

dengan ketebalan sekitar 500 meter. Batuan dengan nilai densitas antara 1.75-2.22 g/cc diidentifikasi sebagai batuan sedimen berupa batuan serpih lempungan dan lempungan dengan sisipan batupasir kuarsa. Batuan dengan nilai densitas 2.82 g/cc diidentifikasi sebagai intrusi batuan andesit. Dalam pemodelan 2D terdapat struktur sesar berupa sesar naik dan sesar normal yang diidentifikasi berdasarkan analisa SVD.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur ke-hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan paper penelitian ini yang berjudul "Aplikasi Metode Gayaberat Dalam Pemodelan Reservoir Panas Bumi Gunung Pancar, Bogor, Jawa Barat". terselesaikannya penelitian ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak sehingga pada kesempatan ini dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Reza Rizki, S.T., M.T., Erlangga Ibrahim Fattah, S.Si., M.T., dan seluruh pihak yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

REFERENSI

- Blakely, R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*: Cambridge, Cambridge University Press.
- Daud, Y., Rosid, S., Nuqramadha, W.A., Fahmi, F., Lestari, A.I., Liati, D., Armando, A., Putranto, T.W., Ruslita, F.M.: *Imaging Reservoir Structure of Mt. Pancar Geothermal Prospect Using Audio-Frequency Magnetotelluric (AMT) and Gravity Technology*. Proceedings 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering (2017). Stanford University, California. (2017).
- Daud, Y. 2009. Klasifikasi Sistem *Geothermal* Bahan Kuliah Eksplorasi *Geothermal*. Depok: Universitas Indonesia.
- Direktorat Panas Bumi ESDM. 2017. Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Effendi A.C, Kusnama dan Hermanto B. 1998. Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa Barat. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Elkins, T.A. 1951. *The Second Derivative Method of Gravity Interpretation*. Chicago: Society of Exploration Geophysicists (SEG).
- Guilbert, John M and C. F. Park, Jr. 1986. *The Geology of Ore Deposits*. W. H. Freeman.
- Hakim, R.A. 2019. Pemodelan Reservoir Panas Bumi Pada Daerah Gunung Pancar, Kabupaten Bogor, Jawa Barat Dengan Menggunakan Metode Magnetik. Lampung Selatan: Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera.
- Hartati, A. 2012. Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa *Derivative* Metode Gayaberat di Pulau Sulawesi. Depok: Universitas Indonesia.
- Hidayat, W., Hamdalah, H., dan Aulia, H. 2019. Analisa *Geoelectrical Strike* Metode AMT untuk Identifikasi Awal Potensi Sistem Panas Bumi di Daerah Gunung Pancar. Yogyakarta: Teknik Geofisika UPN Yogyakarta.
- Marsh, B.D. 2000. *Magma Chambers*. Maryland: Academic Press.
- Moehadi, M. 2009. Geologi Dasar. Depok: Universitas Indonesia.
- Oktobiyanti, R. 2009. Pemodelan Sistem *Geothermal* Daerah Sibayak Menggunakan Data Magnetotellurik dan Gravitasi. Depok: Universitas Indonesia.
- Reynolds, J.M. (1998). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Rosid, S. 2005. *Lecture Notes: Gravity Method in Exploration Geophysics*: Depok, University of Indonesia.
- Sigurdsson, H. 2000. *History of Volcanology*. Rhode Island: Academic Press.
- Soetoyo. 2004. Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Gunung Pancar Kabupaten Bogor Jawa Barat. Bandung: Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics 2nd ed*. Cambridge University Pres. Cambridge.
- Torkis, R. 2012. Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat Di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu. Depok: Universitas Indonesia.
- Wellenhof, BH., and Moritz, H. 2005. *Physical Geodesy*. Austria, Springer Wien NewYork.