

Identifikasi Struktur Sesar Gunung Muria Menggunakan Data Satelit Gravitasi

Sorja Koesuma*, Ferdinan Hotman Sibarani, Budi Legowo

Program Studi Fisika, Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami No.36, Jebres, Surakarta

*E-mail: sorja@staff.uns.ac.id

Abstract: The north coast of Jepara is a region where the development of Muria nuclear power plant takes place which is chosen by the central government through National Nuclear Energy Agency of Indonesia. This nuclear power plant is located in Muria peninsula which will be affected because of tectonics and volcanic activities in such area, mainly in Muria mountain. This study uses gravimetric method to determine the subsurface structure in Muria mountain area. The gravity data is obtained from https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi is dispersed in Muria mountain. The value of anomaly which is obtained is reduced with several corrections and the value of Complete Bouguer Anomaly is achieved. The separation of regional and residual anomaly uses Second Vertical Derivative. The modeling of subsurface used forward modelling method. From this modelling, the rock density widening is in the value of 2.4 g/cm³ for basalt lava or andesite, 2.43 g/cm³ for lava tuff and sand tuff, 2.5 g/cm³ for sandstone tuff and conglomerate tuff with clay stone inserted, and 2.7 g/cm³ for sand limestone and clay limestone. The result of this modelling is shown that there is fault around Muria mountain and is identified as Tempur and Rahwatu fault.

Keywords: Muria peninsula, Muria mountain, gravity method, Topex, Second Vertical Derivative

Abstrak: Pesisir utara Jepara dijadikan sebagai lokasi pengembangan PLTN Muria yang dipilih oleh pemerintah pusat melalui Badan Nuklir Nasional (Batn). Lokasi PLTN yang berada di Semenanjung Muria akan terkena dampak karena adanya aktivitas tektonik dan vulkanik di daerah tersebut, terutama di Gunung Muria. Penelitian ini menggunakan metode gravitasi untuk mengetahui struktur bawah permukaan di sekitar Gunung Muria. Data gravitasi yang diperoleh melalui https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi tersebar sebanyak 566 titik di Semenanjung Muria. Nilai anomali yang didapatkan direduksi dengan beberapa koreksi dan didapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (CBA). Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *Second Vertical Derivative*. Pemodelan bawah permukaan menggunakan metode pemodelan kedepan (*Forward Modelling*). Pada pemodelan ini didapatkan sebaran densitas batuan sebesar 2,4 g/cm³ (lava basalt atau andesit), 2,43 g/cm³ (tufaan, lahar dan tufaan pasir), 2,5 g/cm³ (batu pasir tufaan dan konglomerat tufaan yang bersisipan batu lempung), dan 2,7 g/cm³ (batu gamping pasir dan batu gamping lempung). Hasil pemodelan menunjukkan adanya patahan di sekitar Gunung Muria dan diidentifikasi sebagai patahan Tempur dan Rahtawu.

Kata Kunci: Semenanjung Muria, Gunung Muria, Metode Gravitasi, Topex, *Second Vertical Derivative*

1. PENDAHULUAN

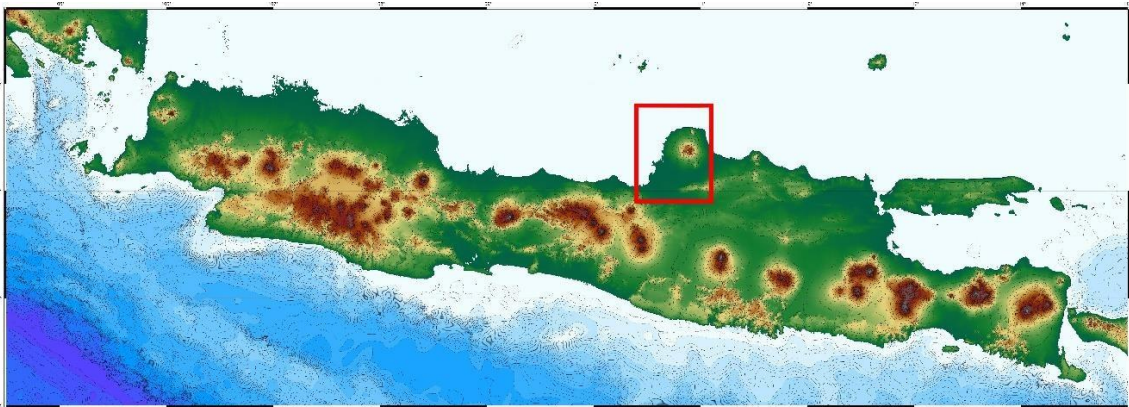
Pesisir utara Jepara merupakan kawasan yang dipilih oleh pemerintah pusat melalui Badan Nuklir Nasional (Batn) untuk dijadikan sebagai lokasi pengembangan PLTN Muria. Terdapat beberapa tempat yang diusulkan di pesisir utara Jepara seperti Ujung Lemah Abang, Ujung Grenggengan dan Ujung Watu. Dari ketiga tempat tersebut lokasi yang dipilih sebagai tapak PLTN Muria adalah Ujung Lemah Abang. Menurut Bronto (2006), pertimbangan pemilihan lokasi ini adalah dibandingkan dengan daerah lain di Jawa dan Bali, Semenanjung Muria memiliki risiko gempa bumi dan letusan gunung berapi paling kecil, yang menjadi salah satu

pertimbangannya. Lokasi PLTN di Pulau Jawa juga memperhitungkan konsumsi listrik Jawa-Bali merupakan yang tertinggi di antara pulau-pulau di Indonesia lainnya.

Semenanjung Muria merupakan kumpulan / kompleks yang disebabkan karena adanya aktivitas vulkanik Gunung Muria dan Genuk. Produk yang keluar dari aktivitas vulkanik berupa basal potasik, basanite, tephrites, trachytes, dan phonolites. Kandungan magma yang keluar lebih banyak mengandung potasium dibandingkan dengan silica. Aktivitas magmatik yang terjadi di semenanjung Muria terbagi kedalam lima periode utama yaitu, Tahap Genuk Pertama, Tahap Muria Pertama, Tahap Muria Tengah, Tahap Genuk Muda, dan Tahap Muria Muda (Van Bemmelen, 1949) (Nicholls *et al*, 1983). Gunung Muria merupakan gunung terbesar dan tertinggi di kawasan ini, dengan ketinggian 1,625 meter.

Patahan/sesar di semenanjung Muria sangat berpengaruh terhadap aktivitas tektonik ataupun vulkanik di kawasan tersebut. Terdapat beberapa patahan yang berpengaruh di semenanjung Muria. Ada dua patahan/sesar utama yang membelah puncak Gunung Muria yaitu sesar Tempur dan sesar Rahtawu. Patahan/sesar Tempur memanjang dari puncak Gunung Muria terus menerus menuju Gunung Genuk dan melewati desa Tempur. Sesar Tempur merupakan *oblique fault*, bagian timur merupakan *foot wall* sedangkan bagian barat merupakan *hanging wall*. Sesar Rahtawu juga merupakan *oblique fault*. Bidang sesar bagian barat yang sangat curam merupakan *foot wall*, sedangkan bagian timur merupakan *hanging wall*. Di bidang patahan timur, ditemukan singkapan berupa tufa, breksi dan air terjun (Astjario *et al*, 2016).

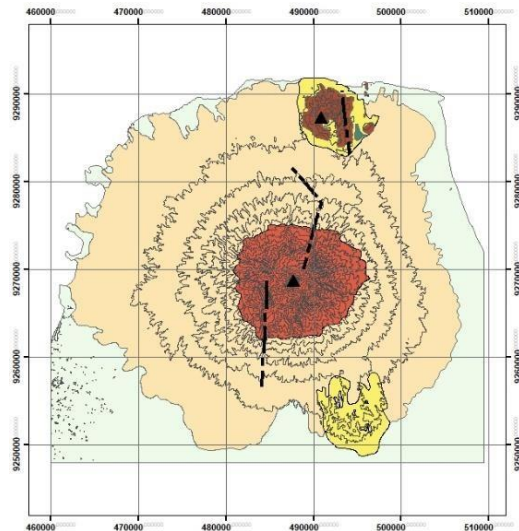
Informasi tentang struktur geologi bawah permukaan Semenanjung Muria masih sangat terbatas. Penelitian dilakukan di Semenanjung Muria yang meliputi wilayah Kabupaten Jepara, Kudus dan Pati. Studi ini dilakukan untuk memberikan informasi tentang struktur geologi bawah permukaan, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memetakan lokasi sesar di daerah tersebut.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

1.1. Geologi Regional

Semenanjung Muria merupakan kumpulan / kompleks yang disebabkan karena adanya aktivitas vulkanik Gunung Muria dan Genuk. Litologi pada daerah ini dibagi kedalam 3 daerah yaitu daerah dataran, perbukitan, dan gunung. Pada daerah dataran litologinya tersusun oleh endapan lava dan alluvium, namun di beberapa tempat juga ditemukan endapan piroklastik dan lava. Pada daerah perbukitan litologinya adalah lava, lahar, dan endapan piroklastik. Kemudian litologi pada daerah gunung adalah lava, intrusi, dan breksi piroklastik.

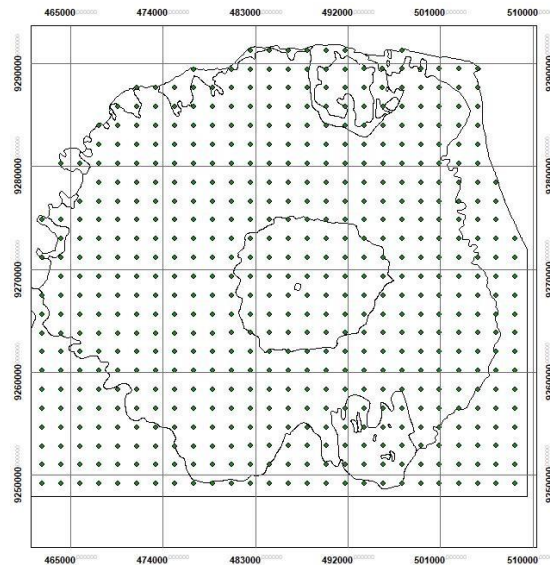


Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian (R.Wikarno)

Menurut Suwarti dan Wikarno (1992) dalam peta geologi lembar Kudus, Formasi bulu merupakan batuan tertua yang tersingkap di Semananjung Muria, kemudian diteruskan oleh Formasi Ujung Watu, batuan Gunung Api Genuk dan Muria. Tatanan batuan yang berada di Semananjung Muria terdiri dari Aluvium (Qs), terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lanau, sisa tumbuhan dan bongkah batuan gunungapi. Formasi ini merupakan endapan termuda yang terhampar di sepanjang pantai barat dan bagian selatan. Lava Muria (Qvlm), terdiri dari lava basal atau andesit; leusit, tefrit, leusitit, trakhit, dan sienit. Formasi ini dapat ditemukan di permukaan Gunung Muria. Tuf Muria (Qvtm), terdiri dari tuf, lahar dan tuf pasiran. Batuan Gunungapi Genuk (Qvg), terdiri dari lava, breksi gunungapi, dan tuf. Formasi Patiyam (Tpp), terdiri dari perselingan batupasir tufan dan konglomerat tufan dengan sisipan batu lempung, batugamping dan breksi. Formasi Bulu (Tmb) tersusun oleh batuan sedimen dan batu gamping berumur Mio-Pliosen. Formasi ini tersingkap pada daerah Semliro dan tepat dibawah fasies Gunung Api Muria dan Genuk. Formasi Ngrayong (Tmn), terdiri dari perselingan napal berwarna putih keabu-abuan dengan ketebalan 20-30 cm, batupasir berwarna kuning kecoklatan dengan ketebalan mencapai 1 meter dan batulempung dengan sisipan batugamping pasiran. Formasi ini berumur Miosen Tengah. Kemudian Batuan Terobosan (Q(b,l,s)), terdiri dari b-retas basal dan andesit; l-retas leusit, tefrit, dan leusitit; serta s-retas sienit.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan data sekunder, yang sudah dalam bentuk FAA (*Free Air Anomaly*) yang berasal dari satelit dan di download melalui website https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi. Lokasi penelitian adalah di Gunung Muria dan sekitarnya yang meliputi Kabupaten Pati, Kudus, Jepara, dan Demak. Batas koordinat dari daerah penelitian dengan UTM longitude (X) 460041,16 sampai 509412,55 m, dan latitude (Y) 9291876,04 sampai 9247995,71 m.



Gambar 3. Lokasi titik ukur dengan interval 1800 m dan berjumlah 566 titik

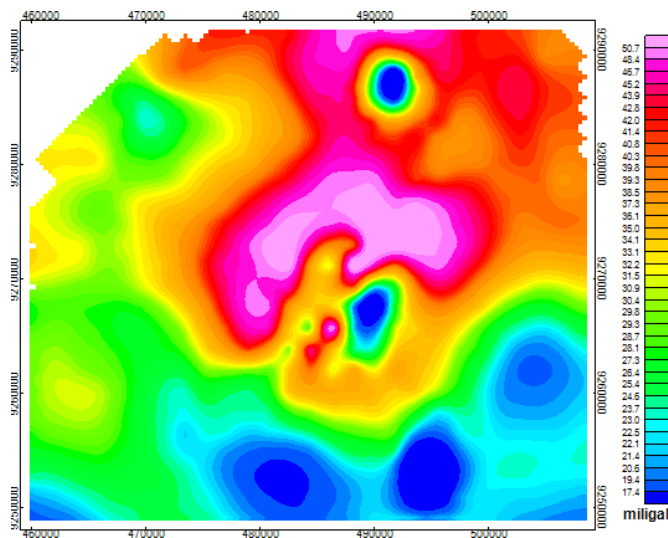
Data yang didapatkan pada penelitian ini berjumlah 566 titik pengamatan dengan jarak/interval antar titik sejauh ± 1800 m, kemudian diolah yang meliputi koreksi Bouguer dan koreksi terrain. Pada data ini digunakan kedua koreksi tersebut karena data yang didapatkan sudah dalam bentuk *Free Air Anomaly*. Kemudian setelah selesai, maka akan didapatkan nilai anomali bouguer lengkap dan selanjutnya ditampilkan dalam bentuk peta anomali bouguer lengkap (ABL). Untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$CBA = g_{obs} - g_n - g_{FA} - TC \tag{1}$$

3. HASIL PENELITIAN

3.1. Pola Anomali Bouguer

Nilai dari anomali bouguer lengkap (ABL) yang sudah didapatkan kemudian dibuatkan peta kontur. Nilai ABL ini didapatkan setelah melakukan koreksi terrain, karena nilai anomali bouguer masih dipengaruhi oleh kondisi topografi dari daerah penelitian. Berdasarkan gambar 4.2, dapat diketahui bahwa nilai anomali terendah sebesar 17,4 mGal, sedangkan untuk nilai anomaliteringgi sebesar 50,7 mGal.



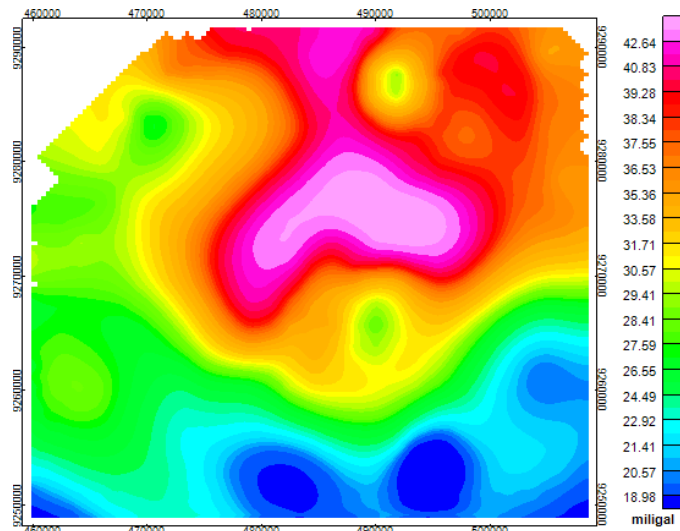
Gambar 4. Peta Anomali Bouguer Lengkap

Perbedaan warna pada Gambar 4 menunjukkan besar kecilnya anomali bouguer. Perbedaan besarkecilnya anomali bouguer disebabkan karena adanya perbedaan densitas batuan, sehingga terdapat respon yang bervariasi pada bawah permukaan. Dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa anomali tinggi ditunjukkan dengan warna orange sampai merah muda dengan nilai anomali bouguer sebesar 34,1 sampai 50,7 mGal, kemudian tersebar pada bagian tengah daerah penelitian dan terus mengarah ke arah utara dan timur laut. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna hijau sampai kuning dengan nilai anomali bouguer sebesar 25,4 sampai 33,1 mGal, kemudian tersebar pada bagian barat daya sampai barat laut dan juga terdapat di daerah timur. Sedangkan anomali rendah dengan nilai anomali sebesar 17,4 sampai 24,6 mGal berada pada daerah selatan dan ditunjukkan dengan warna biru tua sampai biru muda.

3.2. Reduksi Bidang Datar

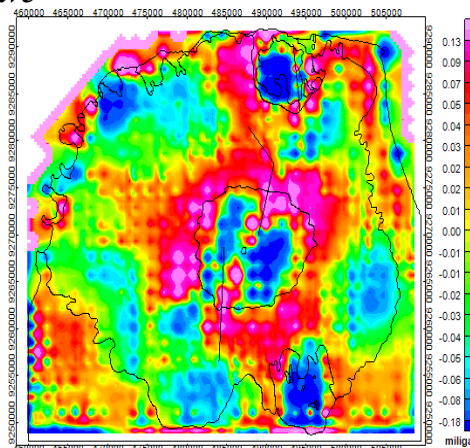
Nilai anomali bouguer lengkap (ABL) yang didapatkan pada setiap titik pengamatan masih memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan terjadinya distorsi pada nilai anomali bouguer lengkap. Oleh karena itu, untuk meminimalkan distorsi maka nilai anomali bouguer lengkap diproyeksikan pada sebuah bidang datar dengan ketinggian yang sama atau disebut dengan reduksi bidang datar. Pada penelitian ini dilakukan reduksi bidang datar dengan menggunakan metode sumber titik ekuivalen titik massa atau biasa disebut dengan metode dampney (Dampney, 1969). Reduksi dilakukan dengan jarak antar titik amat sebesar 1.800 m, kedalaman ekuivalen titik massa 9.000 m, dan ketinggian titik amat sebesar 1.225 m dari referensi spheroid. Pada gambar 4.3 dan 4.2, apabila dibandingkan kedua gambar tersebut dapat diketahui bahwa peta ABL yang sudah tereduksi terdapat wilayah yang memiliki anomali tinggi dibandingkan dengan peta ABL sebelum tereduksi. Hal ini disebabkan karena masih adanya pengaruh topografi. Nilai ABL yang berada pada ketinggian 1.225 m, maka ketinggian tersebut akan dikurangi sampai ke bidang datar 1.225 m. Hal ini menyebabkan nilai ABL semakin besar karena semakin dekat dengan pusat bumi. Nilai ABL berada dibawah 1.225 m, maka ketinggian

tersebut ditambah sampai 1.225 m. Nilai ABL menjadi lebih kecil karena menjauh dari pusat bumi. Rentang nilai anomali pada peta ABL yang sudah tereduksi juga mengalami perubahan yaitu menjadi 42,64 sampai 18.98 mGal.



Gambar 5. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) tereduksi bidang datar

3.3. Second Vertical Derivative

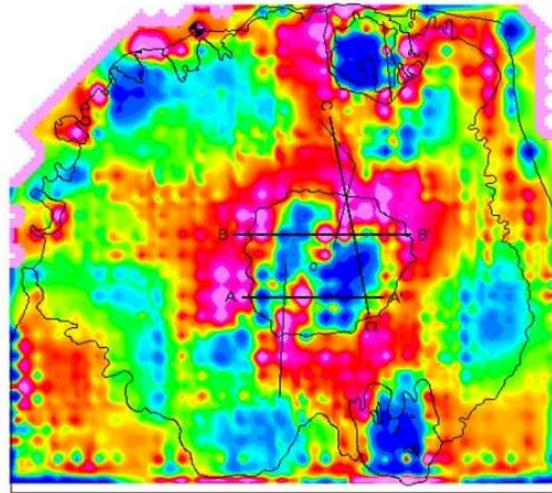


Gambar 6. Peta Anomali Residual

Gambar 6 merupakan peta anomali residual. Peta anomali residual memiliki rentang nilai anomali sebesar -0,18 sampai 0,13 mGal. Pada peta anomali residual persebaran anomali terlihat lebih heterogen, hal ini disebabkan karena peta anomali tersebut mencerminkan sumber anomali yang bersifat dangkal.

3.4. Pemodelan

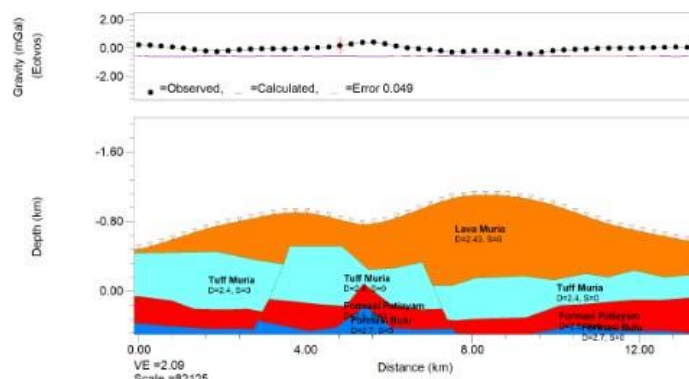
Pemodelan bawah permukaan dilakukan untuk melihat struktur bawah permukaan pada daerah penelitian. Pemodelan ini dilakukan dengan melakukan *slice* pada peta anomali residual. Model permukaan bawah permukaan akan digunakan untuk menganalisis adanya struktur patahan dan juga untuk mengetahui jenis batuan berdasarkan massa jenisnya. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 3 *slice* pemodelan yaitu penampang lintasan A-A', B-B', dan C-C'. Pada pemodelan ini dibutuhkan informasi geologi untuk mendapatkan hasil yang optimal.



Gambar 7. Slice pemodelan pada peta SVD

3.5. Pemodelan Slice A-A'

Slice lintasan A-A' yang terdapat pada Gambar 7 memotong beberapa anomali tinggi dan rendah pada peta anomali residual dan terdapat kemungkinan adanya struktur patahan. Apabila slice lintasan A-A' digabungkan dengan peta geologi, maka dapat terlihat bahwa daerah yang dilintasi oleh slice tersebut melewati sesar tempur dan daerah dengan formasi Lava Muria (Qv_{lm}) dan Tuff Muria (Qv_{tm}). Oleh karena itu pemodelan ini juga akan menampilkan apakah terdapat korelasi dari data yang didapatkan dengan peta geologi dari daerah penelitian. Kedalaman maksimum pada pemodelan ini sebesar 500 m dan didapatkan berdasarkan analisis spektrum yang dilakukan sebelumnya. Pemodelan struktur bawah permukaan slice A-A' ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.

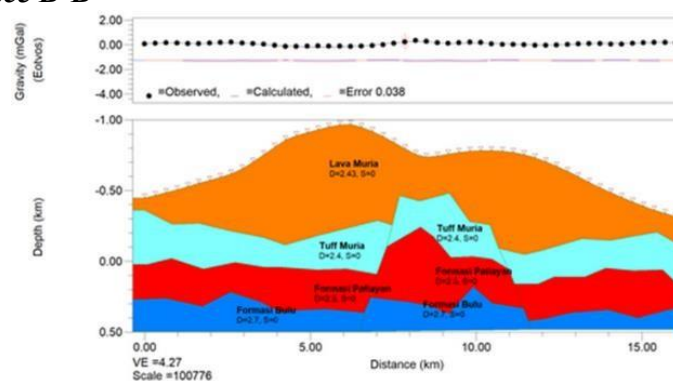


Gambar 8. Pemodelan Slice A-A'

Pada pemodelan ini didapatkan 4 lapisan batuan dan memiliki error sebesar 0,049. Penentuan lapisan pada pemodelan ini diambil berdasarkan pada peta geologi daerah penelitian.

Lapisan pertama pada pemodelan ini memiliki densitas sebesar 2,43 g/cm³ dan diidentifikasi sebagai batuan lava andesit muria. Lapisan ini didapatkan pada daerah permukaan Gunung Muria. Lapisan kedua adalah formasi Tuff Muria (Qvtm) yang memiliki densitas 2,4 g/cm³ dan terdiri dari batuan tuff, lahar dan tuff pasir. Lapisan ketiga adalah Formasi Patiayam (Tpp) yang mempunyai densitas sebesar 2,5 g/cm³ dan disusun oleh beberapa batuan yaitu batupasir tuffan dan konglomerat tuffaan yang bersisipan batu lempung. Kemudian lapisan terakhir adalah Formasi Bulu (Tmb) yang memiliki densitas sebesar 2,7 g/cm³ dan tersusun oleh beberapa batuan seperti batu gamping pasir dan batu gamping lempungan. Berdasarkan pemodelan pada slice A-A' diidentifikasi 2 patahan turun dan membentuk half graben yang ditunjukkan dengan adanya perubahan nilai anomali yang signifikan dari nilai tinggi ke rendah pada jarak 2-3 dan 7-8 km. Kedua patahan hasil dari pemodelan tersebut dapat diidentifikasi sebagai patahan Tempur dan Rahtawu, apabila dikorelasikan dengan peta geologi daerah penelitian.

3.6. Pemodelan Slice B-B'

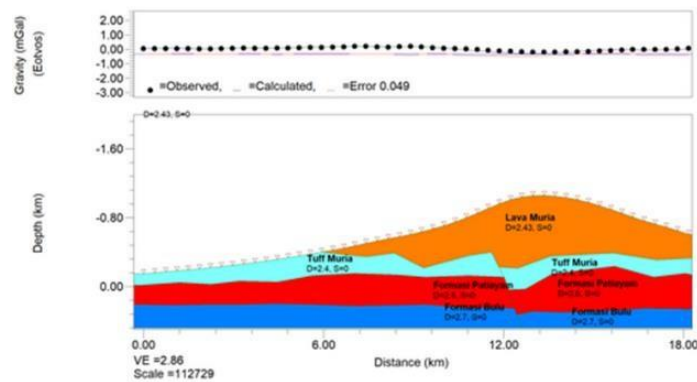


Gambar 9. Pemodelan Slice B-B'

Pemodelan bawah permukaan pada slice B-B' ditunjukkan pada Gambar 4.24 dan menunjukkan adanya 2 patahan turun. Lapisan pertama pada pemodelan ini adalah Lava Muria yang terdiri dari lava basal atau andesit yang memiliki densitas sebesar 2,43 g/cm³. Lapisan ini berada di permukaan Gunung muria. Lapisan kedua adalah Tuff Muria yang memiliki densitas sebesar 2,4g/cm³ dan merupakan formasi yang tersusun dari batuan tuff, lahar dan tuff pasir. Kemudian pada lapisan yang ketiga diisi oleh Formasi Patiayam yang memiliki densitas sebesar 2,5 g/cm³ dan merupakan formasi yang tersusun oleh batuan batupasir tuffan dan konglomerat tuffaan yang bersisipan batu lempung. Selanjutnya lapisannya terakhir adalah formasi bulu dengan densitas 2,7 g/cm³. Formasi ini tersusun dari batuan seperti batu gamping pasir dan batu gamping lempungan. Pada pemodelan ini ini terdapat 2 patahan turun pada jarak 6-7 dan 11-12 km dari titik

B. Nilai error pada pemodelan ini sebesar 0,038. Patahan pada pemodelan ini dapat diindikasikan merupakan patahan yang sama pada pemodelan slice A-A'. Sehingga kedua patahan pada pemodelan ini dapat dikatakan juga merupakan patahan Tempur dan Rahtawu. Hal ini dikarenakan bentuk slice antara A-A' dan B-B' sama dan jarak antar slice tidak terlalu jauh, sehingga geologi antara kedua slice tersebut masih memiliki bentuk yang hampir sama.

3.7. Pemodelan Slice C-C'



Gambar 10. Pemodelan Slice C-C'

Pemodelan bawah permukaan slice C-C' ditunjukkan pada Gambar 4.25 dan memiliki nilai error sebesar 0,049. Lapisan pertama yaitu lapisan Lava Muria yang terdiri dari lava basal atau andesit dan memiliki densitas sebesar 2,43 g/cm³. Lapisan ini mengisi daerah sekitar puncak gunung muria pada jarak sekitar 6-18 km dari titik C. Lapisan kedua diisi oleh Tuff Muria yang mempunyai densitas sebesar 2,4 g/cm³ dan terdiri dari batuan tuf, lahar dan tuf pasiran. Selanjutnya pada lapisan yang ketiga diisi oleh Formasi Patiayam dan memiliki densitas sebesar 2,5 g/cm³. Formasi ini tersusun oleh beberapa batuan seperti batuan batupasir tufan dan konglomerat tufaan yang bersisipan batu lempung. Lapisan terakhir disini oleh Formasi Bulu dengan densitas sebesar 2,7 g/cm³ dan terdiri oleh batuan seperti batu gamping pasiran dan batu gamping lempungan. Pada slice ini diketahui adanya patahan turun pada jarak sekitar 12-13 km dari titik C dan diindikasikan bahwa patahan tersebut sama dengan salah satu patahan pada slice B-B'. Hal ini dikarenakan terdapat titik temu antara slice B-B' dan C-C'.

Berdasarkan pemodelan struktur bawah permukaan pada seluruh slice yang dibuat, model strukturbawah permukaan pada tiap slice memiliki pola struktur lapisan yang sama. Selain itu, pada slice A-A' dan B-B' didapatkan 2 struktur patahan dan membentuk struktur patahan horst graben. Kedua patahan pada slice A-A' dan B-B' dapat diindikasikan sebagai patahan Tempur dan Rahtawu. Kemudian pada slice C-C' didapatkan sebuah patahan turun dan diketahui bahwa patahan tersebut merupakan patahan yang sama dengan patahan B-B'. Penentuan adanya patahan pada tiap slice karena adanya anomali positif-negatif dan juga dicocokkan dengan peta geologi daerah penelitian. Menurut (Astjario & Kusnida, 2016) patahan yang berada di semenanjung Muria (termasuk patahan Tempur dan Rahtawu) dapat dikategorikan sebagai patahan aktif dan kawasan tersebut terdiri dari material yang kurang padat dan sangat memungkinkan untuk mengalami pergerakan ulang. Hal ini tentu harus menjadi pertimbangan untuk membuat PLTN disemenanjung Muria yang lokasinya berada di Ujung Lemah Abang yang berada pada formasi Alluvium yang terdiri dari batuan sedimen.

4. KESIMPULAN

- 1 Struktur bawah permukaan Gunung Muria dari hasil pemodelan diperoleh model dengan nilai densitas yaitu 2,4 g/cm³ (lava basal atau andesit), 2,43 g/cm³ (tuf, lahar dan tuf pasiran), 2,5 g/cm³ (batupasir tufan dan konglomerat tufaan yang bersisipan batu lempung), dan 2,7 g/cm³ (batu gamping pasiran dan batu gamping lempungan).
- 2 Struktur patahan dicirikan dengan adanya kontras antara anomali tinggi dan rendah. Pada pemodelan slice A-A', B-B', dan C-C' didapatkan 2 patahan yang berada di Gunung Muria. Hasil ini terkorelasi dengan peta geologi sebagai patahan Tempur dan patahan

Rahtawu.

DAFTAR PUSTAKA

- Astjario, P., & Kusnida, D. (2016). Penafsiran Struktur Geologi Semenanjung Muria Dari Data Citra Satelit. *Jurnal Geologi Kelautan*, 5(2), 63–71. <https://doi.org/10.32693/jgk.5.2.2007.135>
- Blakely, R. J. (1995). Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. In *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511549816>
- BRONTO, S. (2006). Gunung api maar di Semenanjung Muria. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(1), 43–54. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol2no1.20074>
- Burger, H. R. (1992). *Exploration geophysics of the shallow subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Chamoli, A., & Dimri, V. P. (2020). *Spectral Analysis of Gravity Data of NW Himalaya*. https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.165.c_op_23
- Dampney, C. N. G. (1969). The equivalent source technique. *Geophysics*. <https://doi.org/10.1190/1.1439996>
- DiPietro, J. A. (2018). Normal Fault Systems. In *Geology and Landscape Evolution*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811191-8.00018-x>
- Geophysics. In *Cambridge University press*. <https://doi.org/10.5860/choice.48-1788>
- Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. In *Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*.
- Hinze, W. J., Aiken, C., Brozena, J., Coakley, B., Dater, D., Flanagan, G., ... Winester, D. (2005). New standards for reducing gravity data: The North American gravity database. *Geophysics*, 70(4), 25–32. <https://doi.org/10.1190/1.1988183>
- IAEA. (2012). Volcanic Hazards in the Site Evaluation for Nuclear Installations. *IAEA Safety Standards for Protecting People and the Environment*, 1–128. Retrieved from <http://www-ns.iaea.org/standards/%0Apapers3://publication/uuid/3F8F5DBE-F557-46E6-AD52-9AEB88B76CDB>
- Indriana, R. D. (2019). Distribution of subsurface anomalies in the Muria Peninsula and depth analysis with euler deconvolution. *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, 3(3), 21–30. <https://doi.org/10.29332/ijpse.v3n3.355>
- Kusumadinata, K. (1979). *Data Dasar Gunung Api Indonesia*. Bandung: Direktorat Vulkanologi.
- Lowrie, W. (2007). Fundamentals of Geophysics, second edition. In *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807107>
- McBirney, A. R., Serva, L., Guerra, M., & Connor, C. B. (2003). Volcanic and seismic hazards at a proposed nuclear power site in central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126(1–2), 11–30. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00114-8](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00114-8)
- Milsom, J., & Eriksen, A. (2011). Field Geophysics. In *Field Geophysics*.

<https://doi.org/10.1002/9780470972311>

- Nicholls, I. A., & Whitford, D. J. (1983). Potassium-rich volcanic rocks of the Muriah complex, Java, Indonesia: Products of multiple magma sources? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 18(1-4), 337-359. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(83\)90015-X](https://doi.org/10.1016/0377-0273(83)90015-X)
- Octonovrilna, L., & Pudja, I. P. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.32>
- Permata, I. (2012). *Studi Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Anomali Regional dan Residual dari Data Anomali Bouguer*. Depok: Universitas Indonesia.
- Purnomo, J., Koesuma, S., & Yuniato, M. (2016). Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial dan Inversion. <https://doi.org/10.13057/ijap.v3i01.1208>
- Reynolds, J. M. (1997). An introduction to applied and environmental geophysics. In *An introduction to applied and environmental geophysics*. <https://doi.org/10.1071/pvv2011n155other>
- 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>
- Sunaryo. (1997). *Panduan Praktikum Geofisika*. Malang: Universitas Brawijaya. Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics - Solid Earth*
- Terhadap Rencana Tapak Konstruksi Pltn. *Jurnal Geologi Kelautan*, 6(1). <https://doi.org/10.32693/jgk.6.1.2008.145>
- Usman, E., & Lugra, W. (2016). Tinjauan Geologi Kelautan Perairan Semenanjung Muria
- Van Bemmelen, R. W. (1949). The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. *Government Printing Office, The Hague*, pp. 545-547; 561-562. <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>
- Wibowo, B., Mellawati, J., & Susiati, H. (2011). Kajian Evolusi Geokimia dan Kaitannya dengan Tingkat Bahaya Gunung Api Muria terhadap Tapak PLTN Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*.
- Yanis, M., Marwan, M., & Ismail, N. (2019). Efficient Use of Satellite Gravity Anomalies for mapping the Great Sumatran Fault in Aceh Province. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 9(02), 61. <https://doi.org/10.13057/ijap.v9i2.34479>