

INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN GUNUNG MERAPI DENGAN ANALISA GRADIENT DAN PEMODELAN 2D DATA GAYABERAT

Wisnu Agung Permadi⁽¹⁾, Agus Setyawan⁽¹⁾ dan Ilham Nurdien⁽²⁾

1) Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

2) Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi - BPPTKG, Daerah Istimewa Yogyakarta

E-mail: wisnuagungpermadi@st.fisika.undip.ac.id / wisnuagungpermadi@gmail.com

ABSTRACT

Gravity method research has been done in Merapi Volcano area. The data has been measured by BPPTKG Yogyakarta team with the number of point as much as 164 points. The aim of this research are to identify the subsurface structure and locate the position of Merapi Volcano magma chamber, so that a gradient analysis and 2D modelling based on Bouguer anomaly has been done. Gradient analysis apply first horizontal and second vertical gradient that is used to know the location and the type of structure on the research area. The result from this research show Bouguer anomaly with range value around -8.79 mGal to 305.46 mGal. The 2D modelling show Merapi volcano subsurface model that consist of 5 layers with the position of magma chamber is located in the third layer about 3300 m below the Merapi summit or 700 m below the mean sea level. Based on gradient analysis, there is a normal dip-fault structure. This faults is indicated to be formed a basin on the Merapi summit toward westward leading directly to the Patuk Alap Alap Mountain and Kali Krasak.

Key words : Merapi volcano, 2D modelling, Bouguer anomaly, magma chamber, gradient analysis

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode gayaberat di area Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta. Data merupakan data sekunder dengan pengukuran dilakukan oleh tim BPPTKG Yogyakarta dengan jumlah titik sebanyak 164 titik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah penelitian dan posisi kantong magma Gunung Merapi, sehingga dilakukan analisa gradient dan pemodelan 2D berdasarkan nilai anomali Bouguer. Analisa gradient terdiri dari analisa first horizontal gradient dan second vertical gradient digunakan untuk mengetahui letak dan jenis struktur yang terdapat pada daerah penelitian. Hasil yang didapatkan dari hasil penelitian berupa anomali Bouguer dengan nilai antara -8.79 mGal hingga 305.46 mGal. Pemodelan 2D menghasilkan model bawah permukaan Gunung Merapi yang terdiri dari 5 lapisan dengan posisi kantong magma terletak pada lapisan ketiga dengan kedalaman 3300 m dari bawah puncak Gunung Merapi atau 700 m di bawah permukaan laut. Berdasarkan analisa gradient diperoleh hasil terdapat struktur berupa sesar normal. Sesar ini diindikasikan membentuk cekungan yang terbentuk pada bibir puncak Gunung Merapi ke arah barat yang mengarah langsung menuju Gunung Patuk Alap Alap dan Kali Krasak.

Kata Kunci : Gunung Merapi, pemodelan 2D, anomali Bouguer, kantong magma, analisa gradient

PENDAHULUAN

Gunung Merapi terletak terletak di perbatasan antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah, yang mencakup 4 Kabupaten yaitu Kabupaten Magelang, Kabupaten Sleman, Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali. Gunung Merapi terbentuk karena adanya aktivitas antara 2 Lempeng Benua yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indoaustralia,

menjadikan Gunung Merapi salah satu Gunungapi paling aktif di dunia, dan memiliki sejarah erupsi yang mematikan dalam 100 tahun terakhir dengan intensitas erupsi yang terjadi setiap 3-5 tahun sekali [1] [2].

Tipe erupsi Gunung Merapi [3] yang pernah terjadi secara kontinu bahwa erupsi didominasi oleh ekspulsi kental secara terus menerus dengan lava kristal yang membentuk kubah lava yang bulat dan tebal, aliran lava tebal namun pendek dan jatuhnya akibat ekstrusi

yang menghasilkan *nuee ardente* yang sangat hebat. Bentuk dari *Merapi-type nuee ardente* secara luas telah digunakan untuk mengindikasikan adanya aliran piroklastik yang dibentuk oleh guguran kubah lava [4].

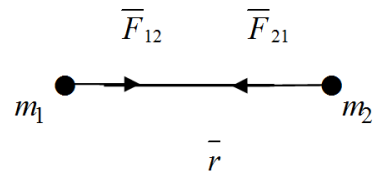
Berdasarkan dampak sejarah erupsi pada evaluasi bencana bahwa erupsi pada abad ke-19 jauh lebih besar dibandingkan dengan yang terjadi pada abad ke-20. Dimana pada beberapa kasus erupsi mencapai lebih dari 20 km dari puncak. Newhall menyatakan erupsi yang lebih besar dapat terjadi dengan rata-rata satu kali setiap 100 tahun [5]. Dan terbukti, terjadi Erupsi yang berbeda dari kebiasaan Gunung Merapi selama beberapa dekade terakhir. Erupsi yang sangat besar terjadi dengan jangkauan 20 km dari puncak Merapi, erupsi dimulai pada akhir Oktober hingga awal Oktober 2010 yang memindahkan tidak kurang dari sepertiga dari satu juta penduduk [6].

Untuk mendukung usaha mitigasi bencana di sekitar area rawan Gunung Merapi dapat dilakukan berbagai macam cara, salah satunya dengan mengetahui kondisi bawah permukaan Gunung Merapi. Untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan dapat digunakan salah satu dari metode geofisika yaitu metode gayaberat. Suyanto telah mengaplikasikan metode gayaberat di Gunung Merapi dengan melakukan pemodelan 2D. Model bawah permukaan Gunung Merapi diinterpretasikan terdiri dari 5 lapisan batuan dengan densitas batuan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman, dengan 2 kantong magma yang teletak pada kedalaman 500 m dan 3200 m [7]. Karena intensitas erupsi gunung merapi yang sangat tinggi, perlu dilakukan penelitian secara terus menerus untuk mengetahui kondisi terkini bawah permukaan Gunung Merapi. Sehingga dilakukan penelitian metode gayaberat dengan analisa *gradient* dan pemodelan bawah permukaan Gunung Merapi.

PRINSIP DASAR METODE GAYABERAT

Teori gayaberat didasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi. Hukum

gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut [8]. Hukum gravitasi Newton diilustrasikan pada Gambar 1, persamaan 1, persamaan 2 dan persamaan 3.



Gambar 1. Gaya tarik menarik antara dua benda m_1 dan m_2 .

$$\vec{F}(r) = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} \tag{1}$$

$$F(r) = G \frac{m M}{r^2} \tag{2}$$

$$g = G \frac{M}{r^2} \tag{3}$$

dimana F adalah gaya tarik menarik (newton), G adalah konstanta universal gayaberat ($6,67 \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$), m_1 adalah massa benda 1 (kg), m_2 adalah massa benda 2 (kg), r adalah jarak antar pusat massa (m), m adalah massa benda, M adalah massa Bumi dan g adalah gravitasi bumi (m/det^2 dalam SI, atau Gal (Galileo) yaitu $1 cm/det^2$).

Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat dan menekankan pada perubahan besar nilai gravitasi karena variasi densitas di bawah permukaan. Namun pada kenyataannya besar nilai gravitasi bergantung pada lima faktor yaitu lintang, elevasi topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi, dan

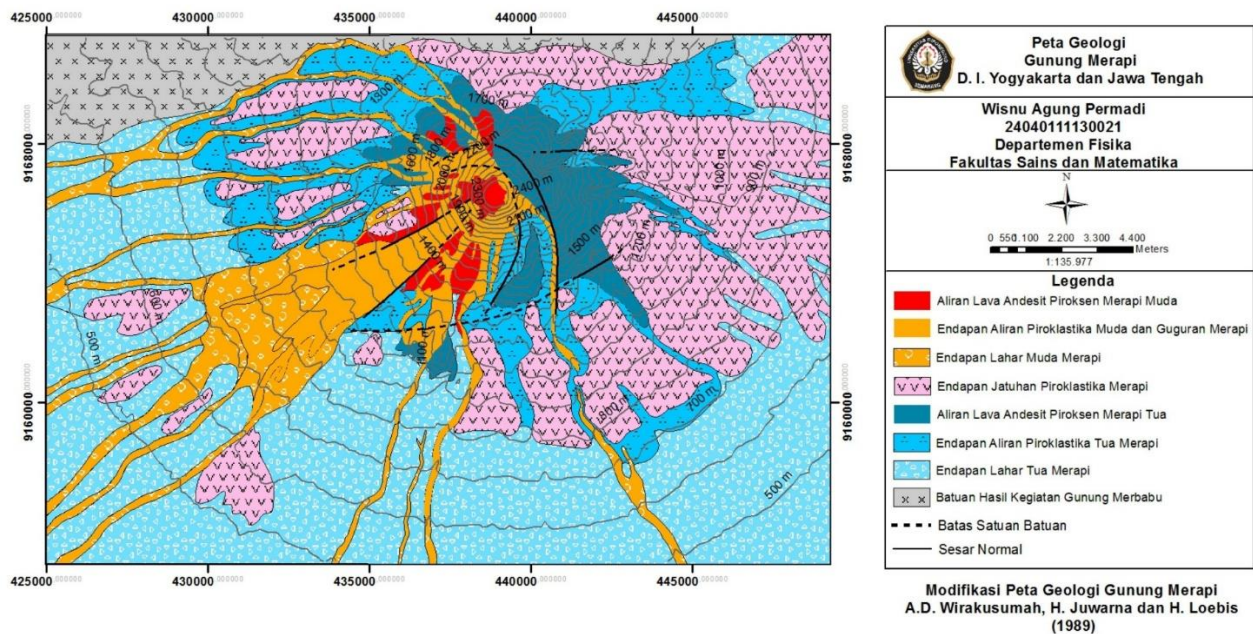
variasi densitas di bawah permukaan [9]. Sehingga dilakukan koreksi untuk menghilangkan pengaruh selain variasi densitas, yaitu koreksi tinggi alat, koreksi pasang surut, koreksi apungan, koreksi lintang, udara bebas, koreksi *Bouguer* dan koreksi medan.

GEOLOGI

Gunung Merapi merupakan salah satu gunungapi andesit, bagian dari busur Sunda, yang memanjang 3000 km dari Sumatera Utara hingga kepulauan Sunda dari Indonesia Timur. Busur subduksi ini dihasilkan dari konvergensi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia [10]. Busur Sunda terletak pada area dimana subduksi terjadi sejak *Upper Paleozoic* [11]. Merapi berada pada 300 km dari palung dan kedalaman *Benioff zone* sekitar 170 km [12].

Terdapat tiga divisi yang terlihat pada merapi, *Ancient Merapi* merupakan *basement* dengan penyusun utama merupakan breksi andesit. *Middle Aged Merapi* melibatkan aliran lava andesit dan batuan breksi. *Recent Merapi* terbentuk oleh tiga susunan utama, aliran andesit besar, batuan *nuee ardente*, dan batuan yang berasal dari *phreato-sub-plinian* dan erupsi *sub-plinian* [13].

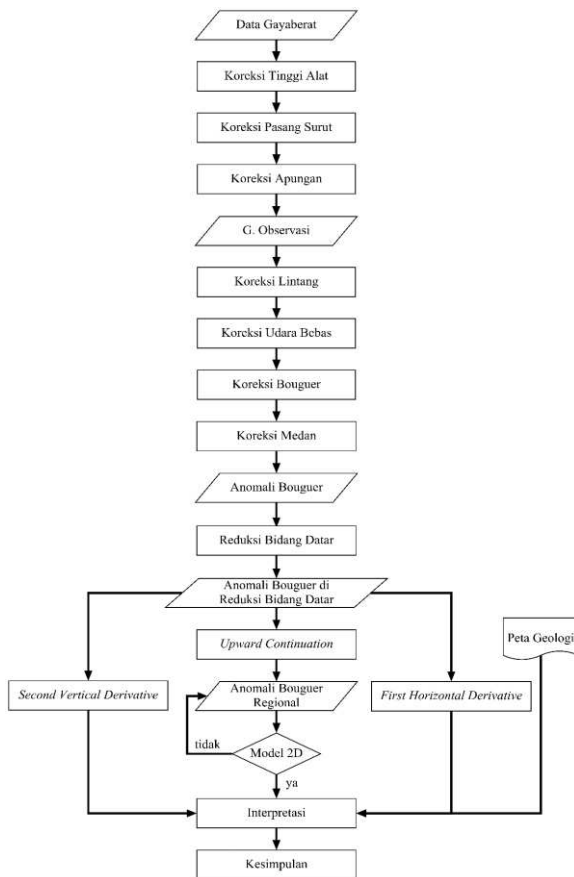
Gunung Merapi merupakan salah satu gunungapi paling aktif dan berbahaya di dunia. Ancaman utama gunungapi sekarang adalah guguran tumpukan kubah andesit pada ketinggian puncak 3000m. Guguran kubah menghasilkan *nuees ardentes* [14] [15], seperti yang terjadi pada erupsi 22 November 1994 [16] [17]. Dengan susunan stratigrafi daerah penelitian terbagi menjadi 2 susunan utama yaitu batuan akibat aktivitas Gunung Merapi Tua dan batuan akibat aktivitas Gunung Merapi Muda yang perlihatkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian [18].

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan analisa *gradient* dan pemodelan 2D dengan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Horizontal Gradient

Horizontal gradient digunakan untuk menekankan informasi frekuensi tinggi yang terkandung dalam data gayaberat, karena kontras densitas maksimal secara lateral diindikasikan dengan adanya patahan dan kontak batuan dengan sudut curam [19]. Besar *Horizontal Gradient Magnitude* (HGM) didefinisikan berdasarkan persamaan 4.

$$HGM(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g(x, y)}{\partial y}\right)^2} \tag{4}$$

dengan $(\partial \Delta g(x, y) / \partial x)$ dan $(\partial \Delta g(x, y) / \partial y)$ adalah *horizontal gradient* grayaberat pada sumbu *x* dan *y*.

Second Vertical Derivative

Metode *SVD* dapat digunakan untuk membantu interpretasi jenis struktur terhadap data anomali *Bouguer* yang diakibatkan oleh adanya struktur patahan turun atau patahan naik [20]. Medan potensial metode gayaberat berdasarkan persamaan Laplace yang ditunjukkan pada persamaan 5 dan persamaan 6. *SVD* ditunjukkan persamaan 7, dan persamaan 8.

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Delta g}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2} = -\left(\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Delta g}{\delta y^2}\right) \tag{7}$$

$$\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta z^2} = -\left(\frac{\delta^2 \Delta g}{\delta x^2}\right) \tag{8}$$

dengan Δg adalah medan potensial gravitasi dan $(\delta^2 \Delta g / \delta z^2)$ adalah *SVD*.

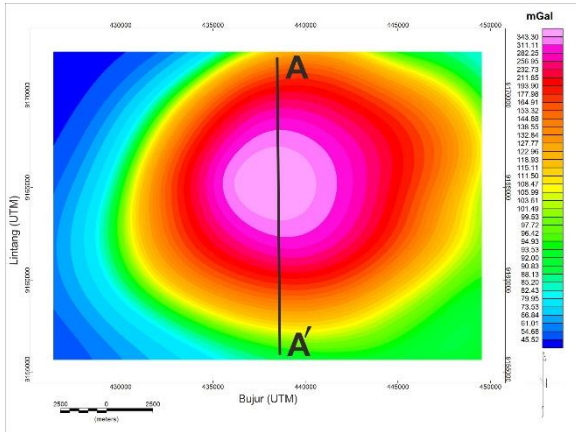
HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Bouguer Gayaberat

Data gayaberat daerah penelitian merupakan data sekunder yang pengukurannya dilakukan oleh tim BPPTKG Yogyakarta yang diukur pada bulan Agustus hingga September.

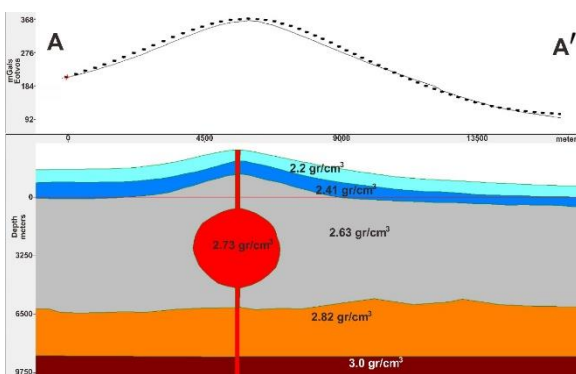
Anomali *Bouguer* daerah penelitian memiliki nilai antara 35,16 hingga 365,12 *mGal* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Anomali *Bouguer* ini merupakan anomali *Bouguer* lengkap yang telah di reduksi bidang datar dengan kedalaman massa ekuivalen 1300

m dan dilakukan kontinuasi ke atas dengan ketinggian 1000 m . Nilai anomali *Bouguer* menunjukkan keberadaan Gunung Merapi. Kemudian dilakukan pemodelan berdasarkan sayatan A-A'.



Gambar 4. Anomali *Bouguer* lengkap.

Dihasilkan model 2D yang terdiri dari 5 lapisan dengan batuan penyusun utama daerah penelitian didominasi oleh andesit piroksin baik dari aktivitas Gunung Merapi Tua dan Gunung Merapi Muda dan kantong magma yang memiliki densitas $2,73 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman 3300 m dari puncak Gunung Merapi. Hasil pemodelan 2D ditunjukkan oleh Gambar 5.

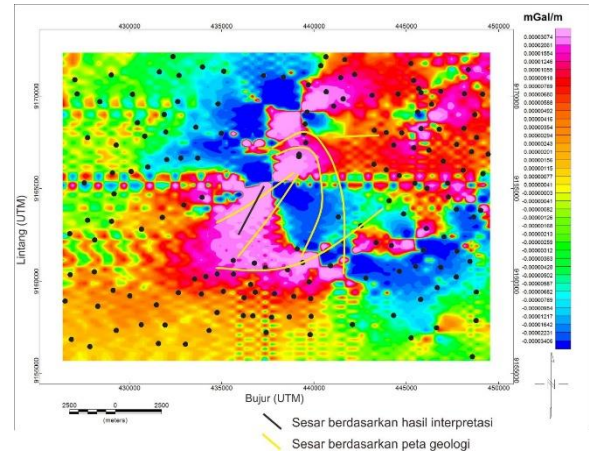


Gambar 5. Model 2D Bawah Permukaan.

Analisa Gradient

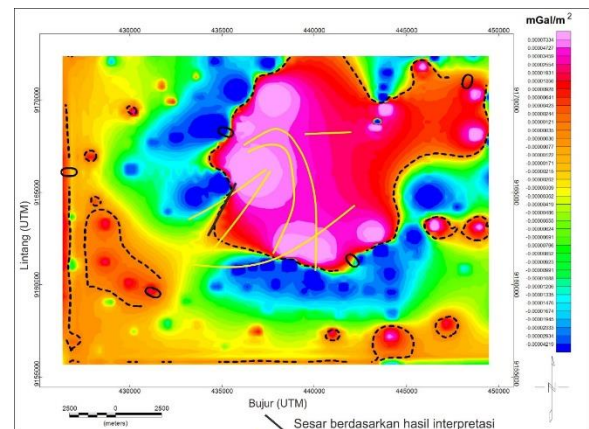
Hasil dari *horizontal gradient* memiliki nilai anomali antara $-5,9318 \times 10^{-5}$ hingga $4,071 \times 10^{-5} \text{ mGal/m}$. Terdapat satu struktur

berupa sesar yang ditunjukkan oleh nilai maksimum yang disesuaikan dengan peta geologi. Hasil interpretasi *horizontal gradient* ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. *Horizontal Gradient*.

Sedangkan untuk *second vertical derivative* (SVD) memiliki nilai antara $-5,556 \times 10^{-5}$ hingga $8,644 \times 10^{-5} \text{ mGal/m}^2$. Diinterpretasikan bahwa terdapat struktur berupa sesar yang ditunjukkan oleh SVD yang bernilai nol. Hasil SVD yang ditunjukkan oleh Gambar 7 memiliki kesesuaian dari hasil interpretasi *horizontal gradient*.



Gambar 7. *Second Vertical Derivative*

Kemudian dilakukan *profiling* dengan melakukan sayatan yang memotong bidang sesar sehingga di dapatkan profil nilai SVD

seperti Gambar 8. Dimana ditunjukkan bahwa nilai SVD_{max} lebih besar dari SVD_{min} sehingga dapat diinterpretasikan bahwa sesar merupakan sesar normal dengan bagian yang turun (*hanging wall*) merupakan daerah yang memiliki SVD_{min} dan bagian *footwall* merupakan daerah yang memiliki SVD_{max} .

KESIMPULAN

Dilakukan pemodelan 2D dengan 5 lapisan batuan bawah permukaan Gunung Merapi dengan nilai densitas $2,2 \text{ gr/cm}^3$, $2,41 \text{ gr/cm}^3$, $2,63 \text{ gr/cm}^3$, $2,83 \text{ gr/cm}^3$ dan $3,0 \text{ gr/cm}^3$ secara berurutan dari lapisan paling atas hingga lapisan paling bawah.

Posisi kantong magma diidentifikasi berada pada kedalaman sekitar 3300 m di bawah puncak Gunung Merapi atau sekitar 700 m dibawah permukaan laut dengan densitas $2,73 \text{ gr/cm}^3$.

Berdasarkan analisa *gradient* diinterpretasikan terdapat struktur berupa sesar yang ditunjukkan dengan adanya nilai maksimum pada *horizontal gradient* dan nilai nol pada *second vertical derivative*. Dan jenis sesar merupakan sesar normal yang diindikasikan dengan SVD_{max} lebih besar dari pada SVD_{min} . Kemungkinan sesar ini membentuk cekungan yang menyebabkan arah erupsi Gunung Merapi sering mengarah ke arah Barat Daya melalui cekungan ini menuju ke Gunung Patuk Alap Alap dan Kali Krasak. Daerah ini didominasi oleh endapan piroklastik dan endapan lahar dari aktivitas Gunung Merapi Muda

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Damby, D. E., Horwell, C. J., Baxter, P. J., Delmelle, P., Donaldson, K., Dunster, C., . . . Tomatis, M. (2012). The Respiratory health hazard of tephra from the 2010 Centennial eruption with implications for occupational mining of deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- [2]. Camus, G., Gourgaud, A., Moussan-Berthommier, P. -C., & Vincent, P. -M. (2000). Merapi (Central Java, Indonesia): An outline of the structural and magmatological evolution, with a special emphasis to the major pyroclastic events. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 139-163.
- [3]. Voight, B., Constantine, E., Siswamidjono, S., & Torley, R. (2000). Historical eruptions of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 69-138.
- [4]. Voight, B., Sukhyar, R., & Wirakusumah, A. (2000). Introduction to the special issue on Merapi Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 1-8.
- [5]. Newhall, C. G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N. G., Bahar, I., del Marmol, M. A., . . . Wirakusumah, A. (2000). 10,000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 9-50.
- [6]. Surono, Jousset, P., Pallister, J., Boichu, M., Buongiorno, M., Budisantoso, A., . . . Lavigne, F. (2012). The 2010 explosive eruption of Java's Merapi Volcano-A '100-year' event. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 241-242, 121-135.
- [7]. Suyanto, I. (2011). Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi dan Merbabu Berdasarkan Analisis Data Gravitasi. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada.
- [8]. Jacobs, J. A., Russel, R. D., & Wilson, J. (1974). *Physics and Geology*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.

- [9]. Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics 2nd Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [10]. Lee, T. Y., & Lawver, L. A. (1995). Cenozoic plate reconstruction of southeast Asia. *Tectonophysics*, Vol. 251, 85-138.
- [11]. Katili, J. A. (1974). Volcanism and plate tectonics in the Indonesian Islands arc. *Tectonophysics*, Vol. 26, 165-188.
- [12]. Hutchison, C. (1976). Indonesian active volcanic arc: K, Sr, and Rb variation with depth to the Benioff zone. *Geology*, Vol. 4, 407-408.
- [13]. Jousset, P., Dwipa, S., Beauducel, F., Duquesnoy, T., & Diament, M. (2000). Temporal gravity at Merapi during the 1993-1995 crisis: an insight into the dynamical behaviour of volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 289-320.
- [14]. McDonald, G. A. (1972). *Volcanoes*. Englewood Cliffs, NJ.
- [15]. Young, K. D., Voight, B., Marso, J., Subandrio, Sajiman, Miswanto, . . . Bronto, S. (1994). Tilt monitoring, lava dome growth and pyroclastic flow generation at Merapi volcano, Java, Indonesia. *Geol. Soc. Am. Abstr. Prog.* 26 (7), A483.
- [16]. Sukhyar, J. (1995). Learning from 22 November 1994 Merapi Eruption. *Merapi Decade Volcano International Workshop*.
- [17]. Abdurachman, E. K., Bourdier, J. L., & Voight, B. (2000). Nuees ardentes of November 22 1994 at Merapi Volcano, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 345-361.
- [18]. Wirakusumah, A., Juwana, H., & Loebis, H. (1989). Peta Geologi Gunungapi Merapi, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- [19]. Svancara, J., Havir, J., & Conrad, W. (2008). Derived Gravity Field of The Seismogenic Upper Crust of The SE Germany and West Bohemia and Its Comparison with Seismicity. *Stud. Geophys. Geod.*, 52, 567-588.
- [20]. Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.