

Identifikasi struktur sesar daerah manifestasi panas bumi “X” di Kabupaten Manggarai Nusa Tenggara Timur berdasarkan analisis *Horizontal Gradient*

Anik Fitrochaton Chasanah¹⁾, Agus Setyawan¹⁾, Dadan Dani Wardhana²⁾

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

²⁾Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Bandung, Indonesia

E-mail: anik.f@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Area “X” located in Manggarai of East Nusa Tenggara is volcanic area in Indonesia which has the potential for geothermal to be indicated by the appearance of a geothermal manifestation of hot springs and fumarole or sulfatar. Processing data by analysis gradient horizontal has been done to determine the structure of fault. From the map complete Bouguer anomaly (ABL) shows anomalies in the middle of the study area which is a crater form of Mount Poco Ranakah, Poco Manggung, Poco Mandasawu and Poco Kasteno. In the southwest of the study area there is a low anomaly associated with alteration zone of rocks and hot springs. The high anomaly to the North of the study area lies in the crumpled hills, so that the area is dominated by high anomaly values. Gradient analysis were performed determine the limits of lithogy and the structure of fault associated with the appearance of hot springs and fumarol or sulfate in the study area. Geothermal manifestastios MAP 6, MAP 7, MAP 8, F/S 1 and F/S 2 controlled by strike slip fault of horizontal gradient. Geothermal manifestations of MAP 1, MAP 4 and MAP 11 are located on geological fault trending Northeast-Southwest and Northwest-Southeast.

Keywords: gravity data, gradient analysis

ABSTRAK

Daerah “X” yang terletak di Kabupaten Manggarai Nusa Tenggara Timur merupakan daerah vulkanik di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi diindikasikan oleh kemunculan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan fumarol atau sulfatar. Pengolahan data gayaberat meliputi analisis horizontal gradien dilakukan struktur berupa sesar. Dari peta anomali Bouguer lengkap (ABL) memperlihatkan adanya anomali rendah di sebelah tengah daerah penelitian yang berasosiasi dengan bentuk kawah dari Gunung Poco Ranakah, Poco Manggung, Poco Mandasawu dan Poco Kasteno. Disebelah Barat Daya daerah penelitian terdapat anomali rendah yang berasosiasi dengan zona alterasi batuan dan kemunculan beberapa mata air panas. Anomali tinggi di sebelah Utara daerah penelitian terletak pada daerah perbukitan yang mengalami pengkikisan, sehingga daerah tersebut didominasi oleh nilai anomali tinggi. Analisis gradien dilakukan untuk mengetahui batas litologi dan jenis sesar yang berhubungan dengan munculnya mata air panas dan fumarol atau sulfatar di daerah penelitian. Kemunculan manifestasi. Kemunculan manifestasi MAP 6, MAP 7, MAP 8, F/S 1 dan F/S 2 terkontrol oleh sesar mendatar pada horizontal gradient. Kemunculan MAP 1, MAP 4 dan MAP 11 berada pada sesar dari informasi geologi berarah Timur Laut – Barat Daya dan Barat Laut – Tenggara.

Kata kunci: Data gaya berat, analisis gradien

PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan energi nasional saat ini masih mengandalkan energi yang berasal dari energi fosil seperti bahan bakar minyak dan gas. Ketersediaan akan sumber energi fosil semakin menipis mengingat sumber energi ini tidak dapat diperbaharui. Sehingga dibutuhkan suatu energi yang mampu menjadi sumber daya prioritas untuk mencukupi ketersediaan energi tersebut. Salah satunya adalah energi panas bumi.

Energi panas bumi adalah energi yang dapat diperbaharui ramah lingkungan, dan bersih karena emisi CO₂ yang dihasilkan rendah. Energi panas bumi ini juga cenderung tidak akan habis karena proses pembentukannya yang terus menerus selama kondisi lingkungannya (geologi dan hidrologi) dapat terjaga keseimbangannya [1]. Pemilihan energi panas bumi sebagai energi prioritas ke depan mempunyai peranan penting terutama sebagai energi domestik mengingat sifat energi

ini yang tidak dapat diekspor, dengan demikian energi panas bumi akan menjadi energi prioritas andalan dan vital karena dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil dan dapat memberikan nilai tambah dalam rangka optimalisasi pemanfaatan aneka ragam sumber energi di Indonesia [2].

Daerah "X" yang terletak di kabupaten Manggarai kepulauan Flores Nusa Tenggara Timur merupakan salah satu daerah vulkanik di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi diindikasikan oleh kemunculan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dan *fumarol* atau *sulfatar* [3]. Beberapa penelitian gaya berat telah dilakukan di daerah manifestasi panas bumi "X" kabupaten Manggarai oleh Dadan D.Wardhana dan Fuad yang menyatakan terdapat sesar berarah barat laut-tenggara [4]. Penelitian lain juga telah dilakukan oleh T.Padmawidjaja (2010) yang menyatakan bahwa terdapat sesar berarah barat laut-tenggara dan dicirikan oleh adanya kelurusan belokan kontur, kelurusan pantai, dan adanya *offset* kontur. Diduga sesar ini sesar mendatar manganan dengan kemiringan ke arah barat daya [5].

Dalam eksplorasi sumber energi panas bumi, metode geofisika memiliki peranan yang penting yaitu untuk menentukan struktur geologi dan komposisi bawah permukaan dengan parameter fisika [6]. Metode geofisika yang digunakan adalah metode gaya berat. Metode gaya berat adalah metode yang didasarkan pada pengukuran variasi medan gravitasi dipermukaan bumi akibat perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan bumi [7]. Metode gaya berat pada sistem panas bumi digunakan untuk mengetahui keberadaan struktur yang mengontrol keberadaan manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan.

Analisis gradien merupakan salah satu jenis *filtering* untuk menjelaskan kontras densitas dari hasil anomali data gaya berat. Analisis gradien dengan *horizontal gradient* mampu memetakan keberadaan struktur berupa sesar dan batas kontak litologi batuan pada nilai maksimumnya [8].

DASAR TEORI

Geologi Daerah Penelitian

Kepulauan Nusa Tenggara terbentuk sebagai akibat dari subduksi lempeng Indo-Australia di bawah busur Sunda - Banda selama Tersier atas. Subduksi ini membentuk *Volcanic Arc* atau Busur Vulkanik di kepulauan Nusa Tenggara [9]. Terdapat beberapa gunung api yang masih aktif yaitu gunung api Poco Mandasawu dan gunung Ranakah yang merupakan anak gunung api yang dihasilkan oleh letusan gunung api Poco Ranakah yang berada di sayap bagian timur laut [10].

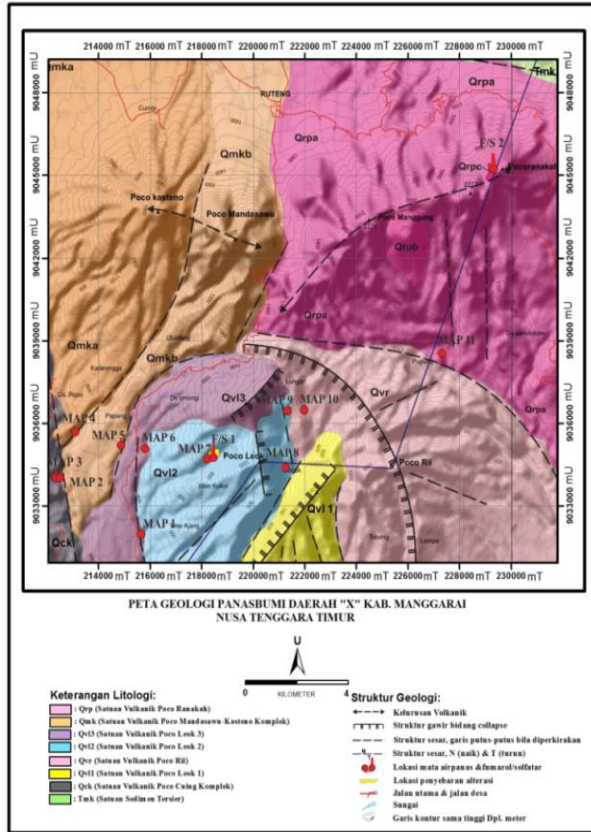
Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar, lipatan dan kelurusan. Sesar yang terdapat pada batuan Miosen Tengah dan Pliosen berarah Barat Laut – Tenggara dan Timur Laut – Barat Daya. Kelurusan yang terdapat pada batuan Miosen Tengah sampai termuda yaitu batuangunungapi Holosen berarah Barat Laut – Tenggara dan Barat Daya – Timur Laut [3].

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Ruteng skala 1:125.000 oleh Koesoemadinata dkk (1994) dalam Nasution (2014) terlihat pada gambar 1 bahwa daerah penelitian tersusun oleh beberapa satuan batuan dari muda ke tua yang terdiri dari: satuan vulkanik Poco Ranakah kompleks, satuan vulkanik Poco Mandasawu-Kasteno kompleks, satuan vulkanik Poco Leok 3, satuan vulkanik Poco Leok 2, satuan vulkanik Poco Rii, satuan vulkanik Poco Leok 1, satuan vulkanik Poco Cuing kompleks, satuan sedimen tersier[11].

Teori gayaberat Newton

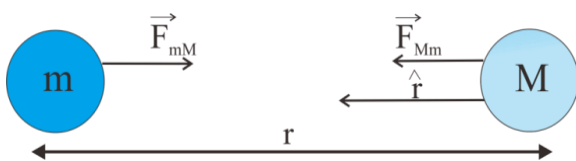
Teori yang mendasari metode gaya berat adalah hukum Newton tentang gaya gravitasi. Hukum gravitasi Newton tersebut menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik

dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda [12].



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian [3].

Hukum gravitasi Newton diilustrasikan pada Gambar 2 dan persamaan (1).



Gambar 2. Gaya tarik menarik antara dua benda bermassa m dan M [6].

$$\vec{F}(r) = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

dengan \vec{F} adalah gaya tarik menarik (Newton), G adalah konstanta universal gaya berat ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$), m adalah massa benda (kg), M adalah massa bumi (kg), r adalah jarak antar massa m dan massa M (m), dan \hat{r} adalah satuan vektor yang mengarah dari M ke m . Tanda

minus pada persamaan (1) penting karena arah \hat{r} berlawanan dengan arah gaya tarik menarik [13].

Percepatan Gaya berat

Besaran yang diukur dalam metode gaya berat adalah percepatan gaya berat \vec{g} . Hukum Newton II menyatakan bahwa sebuah gaya adalah hasil perkalian antara massa dan percepatan. Hukum Newton II tersebut dijelaskan oleh persamaan (2).

$$\vec{F}(r) = m\vec{g} \quad (2)$$

dengan \vec{F} adalah gaya pada sebuah massa (Newton), m adalah massa benda (kg), dan \vec{g} adalah percepatan gayaberat (m/s^2).

Interaksi antara bumi (bermassa M) dengan benda di permukaan bumi (bermassa m) sejauh jarak r dari pusat keduanya juga memenuhi hukum tersebut, maka dari persamaan (1) dan (2) didapatkan persamaan (3).

$$\vec{g}(r) = -G \frac{M}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

dengan satuan \vec{g} dalam m/s^2 (SI), atau Gal (Galileo) yaitu 1 cm/s^2 . Karena pengukuran dilakukan dalam variasi percepatan gaya berat yang begitu kecil, maka satuan yang sering digunakan adalah miliGal (mGal) [14]. Persamaan (3) menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gaya berat di bumi (\vec{g}) adalah berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (r).

Analisis Gradien

Analisis gradient yang digunakan yaitu *Horizontal gradient* berupa *First Horizontal Gradient* dan *Second Horizontal Gradient*. *Horizontal gradient* digunakan untuk menekankan anomali tinggi yang terkandung di dalam data gaya berat, karena nilai maksimum yang menunjukkan kepadatan lateral pada kontras yang diindikasikan

sebagai sesar. *Horizontal gradient* dibagi menjadi dua tahap yaitu FHG (*First Horizontal Gradient*) dan SHG (*Second Horizontal Gradient*). Besarnya *horizontal gradien* (x,y) didefinisikan oleh persamaan (4) dan (5).

$$HG_x = \frac{\partial \Delta g}{\partial x} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g}{\partial x}\right)^2} \quad (4)$$

$$HG_y = \frac{\partial \Delta g}{\partial y} = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g}{\partial y}\right)^2} \quad (5)$$

maka besarnya *horizontal gradien* (x,y) pada persamaan (6) [15].

$$HG(x,y) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

dengan Δg adalah nilai *Bouguer* gaya berat total, ∂x adalah nilai gradien sumbu x dan ∂y adalah nilai gradien sumbu y.

METODOLOGI PENELITIAN

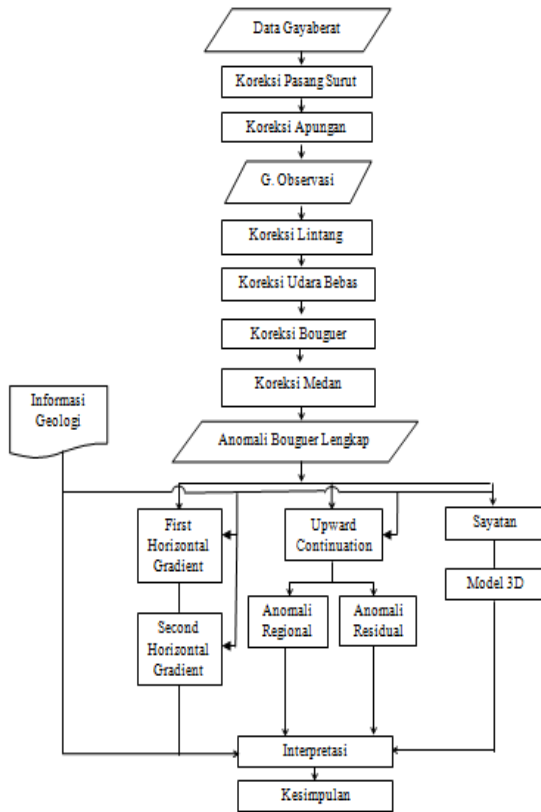
Data yang digunakan adalah data sekunder dari Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI Bandung sebanyak 104 titik. Data yang telah didapat dalam proses pengambilan data kemudian dilakukan pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan mengoreksi pasang surut, dan apungan pada data gayaberasat sehingga didapat nilai medangayaberasat observasi. Nilai medan gayaberasat observasi kemudian dikoreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi *Bouguer*, dan koreksi medan sehingga didapat nilai anomali *Bouguer* lengkap (ABL). Anomali *Bouguer* lengkap kemudian dipisahkan menggunakan *upward continuation* sehingga didapat kontur anomali regional dan residual. Anomali *Bouguer* juga digunakan untuk analisis gradien secara horizontal (*first horizontal* dan *second horizontal gradient*) sehingga didapatkan kontur hasil analisis gradient, kemudian diinterpretasi bersama dengan informasi geologi untuk mengetahui struktur sesar daerah panasbumi "X" di Kabupaten Manggarai, Nusa Tenggara Timur. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

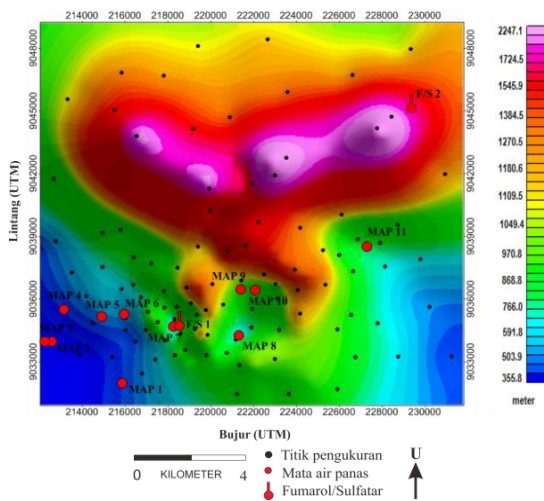
Ketinggian dan Medan Gayaberasat Observasi

Penelitian ini dilakukan di daerah "X" Kabupaten Manggarai, Nusatenggara Timur dan merupakan daerah yang didominasi oleh perbukitan. Gambar 4 menunjukkan rentang ketinggian daerah penelitian antara 355,8 hingga 2247,1 meter. Ketinggian rendah berada pada rentang nilai 355,8 hingga 766,0 meter terletak di sebelah Tenggara dan Barat Daya daerah penelitian yang merupakan daerah dataran rendah. Ketinggian tinggi berada pada rentang nilai 1384,5 hingga 2247,1 meter terletak di sebelah tengah daerah penelitian yang merupakan kenampakan dari puncak gunung api. Medan gaya berat observasi merupakan nilai gaya berat sebenarnya pada daerah penelitian.

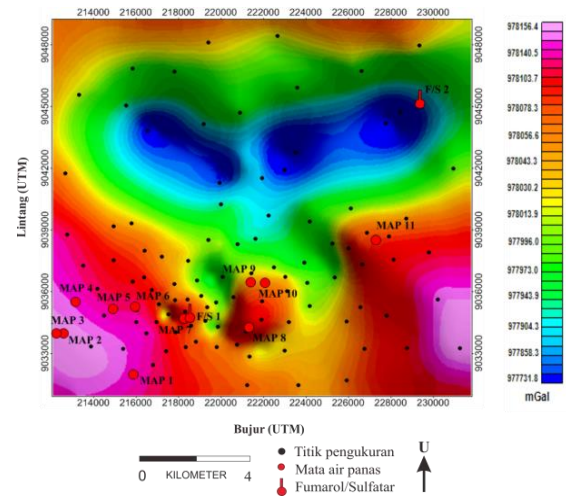
Gambar 5 menunjukkan rentang nilai medan gaya berat observasi antara 977731,8 hingga 978156,4 mGal. Nilai medan gaya berat observasi rendah berada di sebelah tengah daerah penelitian yang merupakan kenampakan dari puncak gunung api dan nilai medan gaya berat observasi tinggi terletak di sebelah tenggara dan barat daerah penelitian yang merupakan daerah dengan dataran rendah yang berbatasan dengan sungai. Dari gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan bahwa pada daerah yang memiliki ketinggian yang tinggi, nilai medan gaya berat observasinya rendah begitupun sebaliknya. Hal ini sesuai dengan teori Hukum Newton tentang gaya tarik-menarik bahwa besar nilai medan gaya berat observasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar kedua massa. Dalam hal ini jarak antara kedua massa adalah ketinggian. Dari Hukum Newton tersebut bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi ketinggian suatu daerah maka nilai medan gaya berat observasinya semakin rendah dan begitupun sebaliknya.



Gambar 3. Diagram alir pengolahan data



Gambar 4. Peta ketinggian daerah penelitian

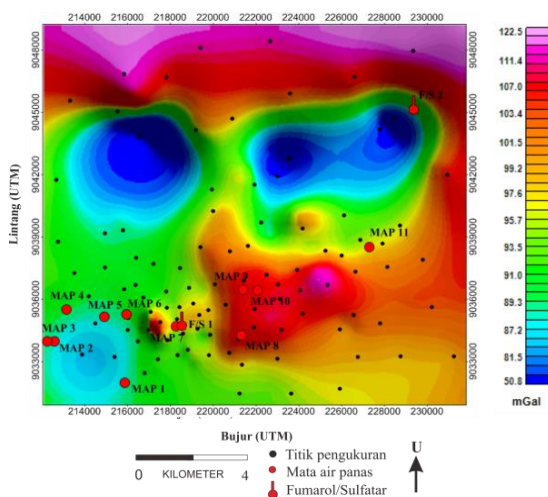


Gambar 5. Medan gaya berat observasi

Anomali Bouguer Lengkap

Interpretasi anomali *Bouguer* dilakukan berdasarkan kontur anomali *Bouguer* lengkap pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan rentang nilai anomali *Bouguer* antara 50,8 hingga 122,5 mGal. Nilai anomali rendah ditunjukkan pada rentang nilai 50,8 hingga 91,0 mGal terletak di sebelah barat daya dan tengah daerah penelitian. Anomali rendah di sebelah tengah berada pada topografi tinggi yang merupakan puncak dari gunung Poco Ranakah, Poco Manggung, Poco Mandasawu dan Poco Kasteno dan anomali rendah sebelah barat daya terletak pada daerah dataran rendah yang memperlihatkan adanya kemunculan beberapa manifestasi panasbumi berupa mata air panas. Anomali sedang ditunjukkan pada rentang nilai 91,0 hingga 103,4 mGal yang tersebar di sebelah Tenggara dan Selatan serta memanjang di bagian tengah daerah penelitian. Anomali tinggi ditunjukkan pada rentang nilai 103,4 hingga 122,5 mGal berada di sebelah Utara dan beberapa titik di sebelah tengah daerah penelitian yang terletak pada topografi sedang. Terdapat zona lemah yang memisahkan antara nilai anomali *Bouguer* tinggi dan nilai anomali *Bouguer* rendah disebelah tengah daerah penelitian yang diinterpretasikan sebagai struktur sesar.

Kemunculan manifestasi pada daerah panasbumi “X” di kabupaten Manggarai berupa mata air panas dan fumarol atau sulfatar. Keberadaan manifestasi MAP 1, MAP 2, MAP 3, MAP 4, MAP 5 dan MAP 6 berada pada nilai anomali *Bouguer* rendah. Keberadaan MAP 7, MAP 11, F/S 1 dan F/S 2 berada pada nilai anomali *Bouguer* sedang yang di indikasikan sebagai zona lemah dan diinterpretasikan sebagai sesar. Keberadaan manifestasi MAP 8, MAP 9, MAP 10 berada pada nilai anomali *Bouguer* cenderung tinggi, dimungkinkan kemunculan MAP 10 dikontrol oleh *heat source* dari sistem geothermal didaerah tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa manifestasi panasbumi “X” di kabupaten Manggarai muncul pada anomali rendah hingga sedang atau dikontrol oleh keberadaan struktur.



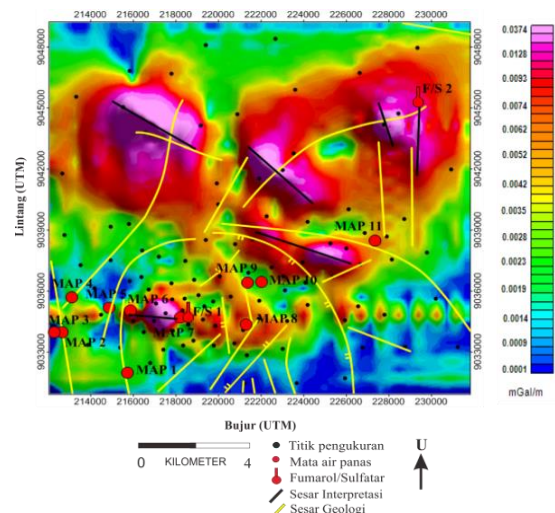
Gambar 6. Peta anomali *Bouguer* lengkap

Analisis Gradien

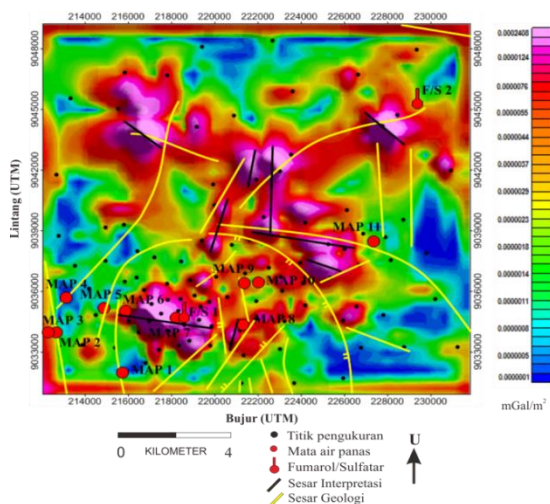
Horizontal gradient digunakan untuk menekankan informasi yang terkandung dalam data gaya berat, karena nilai *horizontal gradient* maksimal diidentifikasi sebagai patahan dan kontak batuan [15]. Interpretasi data gaya berat menggunakan *horizontal gradient* didasarkan pada penurunan persamaan *Laplace* pada nilai anomali *Bouguer* lengkap terhadap sumbu x dan

sumbu y. Proses perhitungan menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj* menghasilkan kontur *first horizontal gradient* pada gambar 7 dan *second horizontal gradient* pada gambar 8. Gambar 7 menunjukkan sebaran nilai *first horizontal gradient* daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki sebaran nilai *first horizontal gradient* antara 0,001 hingga 0,0374 mGal/m. Gambar 8 menunjukkan sebaran nilai *second horizontal gradient* daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki sebaran nilai *second horizontal gradient* antara 0,0000001 hingga 0,0002408 mGal/m².

Dari peta kontur *horizontal gradient* daerah penelitian menunjukkan beberapa struktur sesar yang menyebar dari tengah hingga selatan daerah penelitian. Keberadaan manifestasi MAP 6, MAP 7, MAP 8, F/S 1 dan F/S 2 terkorelasi dengan nilai maksimum *horizontal gradient* yang di interpretasikan sebagai sesar mendatar berarah barat laut – tenggara dan timur laut – barat daya.



Gambar 7. Peta *first horizontal gradient*



Gambar 8. Peta *second horizontal gradient*

KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis gradien yang meliputi *horizontal gradient*. Hasil analisis *horizontal gradient* menginterpretasikan adanya sesar mendatar yang mengontrol munculnya manifestasi MAP 6, MAP 7, MAP 8, F/S 1 dan F/S 2 di daerah penelitian. Keberadaan manifestasi MAP 1, MAP 4 dan MAP 11 terkontrol oleh sesar geologi berarah timur laut - barat daya dan barat laut - tenggara.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Daud, Yunus, 2010, *Diktat Kuliah: Introduction to Geothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.

[2]. Kasbani, 2009, Tipe Sistem Panasbumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya, *Kolokium Sumber Daya Geologi* Vol. 4 No. 3.

[3]. Koesoemadinata, S. Noya, Y. dan Kadarisman, D., 1994, *Peta Geologi Lembar Ruteng, Nusa Tenggara*, Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

[4]. Wardhana, Dadan D., Firmansyah, Fuad., 2015, *Laporan Kemajuan Kegiatan Lapangan*

Panasbumi Flores Nusa Tenggara Timur, LIPI, Bandung.

[5]. T. Patmawidjaja, 2010, Kondisi Geologi Daerah Ruteng Ditafsir Pada Data Gayaberat, *JSDG* Vol. 20 No. 5 Oktober 2010.

[6]. Rosid, S., 2005, *Lecture Notes : Gravity Methodin Exploration Geophysics*: Depok, University of Indonesia.

[7]. Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E., 1990, *Applied Geophysics 2nd Edition*, Cambridge University Press, Cambridge.

[8]. Setyawan, A., Yudianto, H., Nishijima, J., Hakim, S., 2015, Horizontal Gradient Analysis for Gravity and Magnetic Data Beneath Gedongsongo Geothermal Manifestations, Ungaran, Indonesia, *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

[9]. Darman, H. dan Sidi, F.H., 2000, *An Outline of The Geology of Indonesia*, IAGI, Jakarta.

[10]. Gurniwa, Agus., 2005, Penyelidikan Geokimia Bersistem Lebar Ruteng Barat Kabupaten Manggarai dan Manggarai Barat Provinsi Nusa Tenggara Timur, *Kolokium Hasil Lapangan-DIM*.

[11]. Nasution., 2014, *Laporan Kemajuan Kegiatan Lapangan Panasbumi Flores Nusa Tenggara Timur*, LIPI, Bandung.

[12]. Jacobs, J. A., Russel, R. D., & Wilson, J., 1974, *Physics and Geology*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.

[13]. Wijayanti R,D., Yulianto, Tony., Irham, N., 2009, Prediksi Batas Cekungan Jawa Timur Utara Dengan Pegunungan Selatan Di Daerah Magetan-Plaosan Dengan Metode Gravitasi, *Jurnal Sains dan Matematika*, Nomor 1, Volome 17.

- [14]. Nettleton, L.L., 1976, *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*. New York: Mc Graw-Hill.
- [15]. Graunch VSJ, Cordell L, 1987, Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Short note, Geophysics* 52 (1), 118-121.