

Identifikasi Sebaran Anomali Magnetik pada Daerah Prospek Panas Bumi Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar

Hanif Hidayat*, Ardian Putra, Dwi Pujiastuti

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas

Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 25 Januari 2021

Direvisi: 29 Januari 2021

Diterima: 05 Februari 2021

Kata kunci:

anomali magnetik
batuan panas
caprock
panas bumi
reservoir

Keywords:

magnetic anomaly
hotrock
caprock
geothermal
reservoir

Penulis Korespondensi:

Hanif Hidayat

Email:

hanifhidayat270398@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran anomali magnetik pada daerah prospek panas bumi Nagari Aie Angek untuk mengetahui potensi panas bumi yang digambarkan dalam bentuk pemodelan sistem panas bumi. Penelitian yang dilakukan pada daerah berdimensi $1300 \text{ m} \times 1300 \text{ m}$ yang terdiri dari 198 titik pengambilan data. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai anomali magnetik yang berada pada daerah tersebut berada pada rentang -2800 nT hingga 1800 nT dan didominasi oleh nilai magnetik negatif. Anomali magnetik negatif ini disebabkan oleh adanya sumber panas, reservoir dan pengaruh batuan sedimen vulkanik yang telah mengalami demagnetisasi. Data sebaran anomali magnetik ini diplot menjadi peta kontur yang selanjutnya dikontinuasi ke atas (*smoothing*) untuk menghilangkan pengaruh magnetik pada permukaan dan menekankan pengaruh regional. Berdasarkan hasil pemodelan dari sistem panas bumi didapatkan adanya indikasi *caprock*, reservoir dan batuan panas serta zona sesar yang berkaitan erat dengan sistem fluida hidrotermal.

*This research aims to identify the distribution of magnetic anomalies in the Nagari Aie Angek geothermal prospect area and determine the geothermal potential described in geothermal system modeling. This research was conducted in an area with $1300 \text{ m} \times 1300 \text{ m}$, consisting of 198 data collection points. From the research result, the magnetic anomaly values obtained are in the range -2800 nT to 1800 nT and are dominated by negative magnetic values. This negative magnetic anomaly is caused by heat sources, reservoirs, and the influence of demagnetized volcanic sedimentary rocks. This magnetic anomaly distribution data is plotted into a contour map, which is then performed by upward continuation (*smoothing*) to eliminate magnetic influence on the surface and emphasize regional effects. Based on the geothermal system's modeling results, it is found that there are indications of *caprock*, reservoir, and hot rock, as well as a fault zone that is closely related to the hydrothermal fluid system.*

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang berasal dari panas yang dibangkitkan oleh proses magmatisasi lempeng-lempeng tektonik. Energi ini cocok untuk dikembangkan dan berpotensi untuk memenuhi kebutuhan energi pada era modern ini, khususnya di Indonesia. Hal ini disebabkan karena Indonesia memiliki lingkaran sabuk gunung api sepanjang lebih dari 7000 km yang memiliki potensi panas bumi yang besar (Gaffar dkk., 2007). Namun pemanfaatan energi panas bumi yang ada di Indonesia masih tergolong minim, yaitu 2.130,6 *Mega Watt electrical* (MWe) atau sekitar 8,9% dari 23,9 *Giga Watt electrical* (GWe) potensi yang ada (KESDM, 2020). Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) (2017), energi panas bumi tergolong sebagai energi terbarukan yang efisien, bersih dan ramah lingkungan, dimana energi ini mampu dikonversi menjadi energi listrik dengan tingkat emisi karbon yang sangat rendah yaitu sebesar 1,5% dari PLTU dan 2,7% dari PLTG.

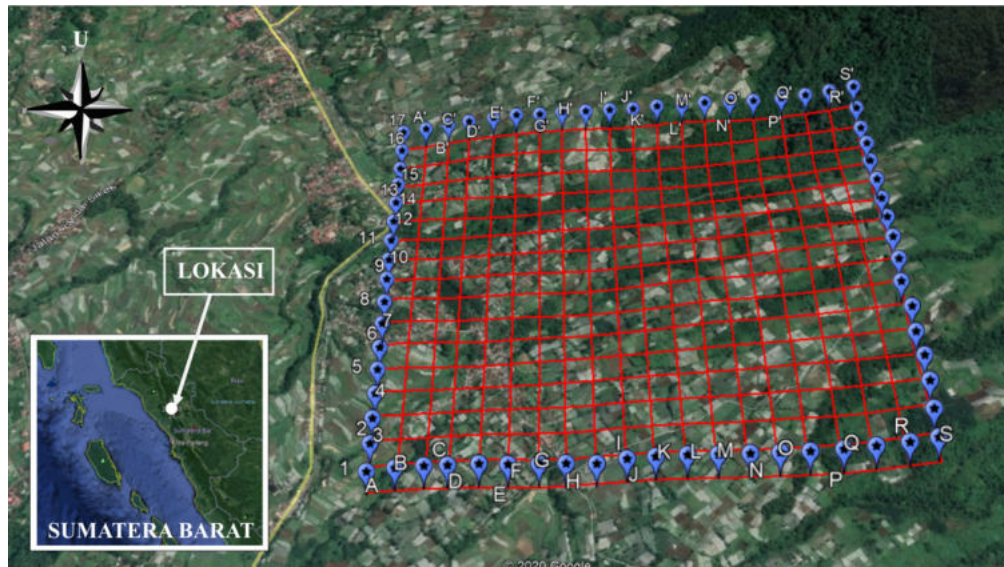
Metode geomagnet merupakan salah satu bagian dari metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi panas bumi. Hal ini dikarenakan metode geomagnet memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode geofisika lainnya, diantaranya metode ini sangat sensitif terhadap perubahan vertikal lapisan batuan yang umumnya digunakan untuk mempelajari intrusi batuan andesit, batuan dasar, urat hidrotermal yang kaya akan mineral feromagnetik dan untuk mempelajari struktur geologi. Disamping itu pengoperasian metode geomagnet ini relatif sederhana, mudah dan cepat jika dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Metode geomagnet ini digunakan pada studi panas bumi karena mineral-mineral feromagnetik akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati *Temperature Curie*. Hal ini disebabkan adanya proses demagnetisasi oleh proses alterasi hidrotermal, dimana proses tersebut mengubah mineral yang ada menjadi mineral-mineral paramagnetik atau bahkan diamagnetik. Nilai intensitas magnet yang rendah tersebut dapat menginterpretasikan zona-zona potensial sebagai reservoir dan sumber panas. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nuha dkk. (2014), Rajab dkk. (2016), Broto (2011) dan Rafmin dkk. (2016) dengan menggunakan metode geomagnet, potensi dan ciri khas yang berada di daerah sekitar prospek panas bumi dapat diketahui dari anomali magnetik negatif, sehingga metode ini cocok digunakan untuk mendeteksi potensi panas bumi sebagai survei pendahuluan.

Nagari Aie Angek, Kecamatan X Koto, Kabupaten Tanah Datar merupakan salah satu daerah prospek energi panas bumi yang ada di Provinsi Sumatera Barat. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan adanya spekulatif sumber daya panas bumi sebesar 25 MWe dan suhu reservoir berdasarkan hasil perhitungan *geothermometer* sebesar 154°C yang dikategorikan sebagai temperatur sedang (KESDM, 2017). Berdasarkan adanya indikasi energi panas bumi dan adanya manifestasi berupa sumber mata air panas di Nagari Aie angek, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengukuran nilai anomali magnetik pada daerah di sekitar manifestasi panas bumi untuk memetakan pola sebaran panas dan sistem panas bumi yang menjadi salah satu faktor pendukung dalam penentuan potensi panas bumi yang ada pada wilayah tersebut.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada daerah seluas 2,65 km², yang memiliki 14 lintasan dengan 197 titik pengambilan data dan 1 titik base station pada setiap lintasan, jarak antar lintasan sejauh 100 m dan memiliki 12 hingga 15 titik pengambilan data pada setiap lintasannya dengan spasi 100 m. seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode *looping* yang mana pengambilan data dimulai dan diakhiri di titik yang sama (*base station*) pada setiap lintasan. Metode *looping* ini dipilih karena pada saat pengambilan data hanya menggunakan satu magnetometer untuk mengukur medan magnetik pada setiap titik pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan mencatat jam, *longitude*, *latitude*, ketinggian yang terbaca dengan menggunakan GPS dan nilai medan magnetik total yang muncul pada magnetometer disetiap titik pengambilan data dan base station.



Gambar 1 Titik Titik Pengambilan Data

2.2 Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan pembuatan peta kontur induksi medan magnetik total yang di dapat dari hasil akuisisi data magnetik, selanjutnya melakukan koreksi IGRF (International Geomagnetic Reference Field) dan koreksi variasi harian untuk mendapatkan nilai anomali medan magnetik total dengan menggunakan Persamaan (1).

$$\Delta H = H_p - H_{IGRF} \pm H_d \quad (1)$$

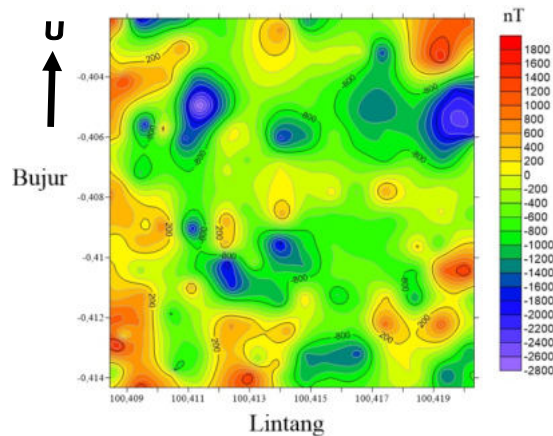
dimana ΔH merupakan anomali magnetik, H_p adalah medan magnet hasil pengukuran, H_{IGRF} adalah medan magnet teoritis koreksi IGRF, dan H_d adalah koreksi diurnal atau koreksi variasi harian. Nilai anomali magnetik total diinterpretasikan dalam peta kontur, kemudian dilakukan kontinuitas ke atas untuk mereduksi pengaruh anomali magnetik lokal dan menekankan pengaruh anomali magnetik regional pada peta kontur. Peta kontur anomali magnetik regional hasil pemisahan anomali tersebut selanjutnya dilakukan sayatan. Hasil sayatan tersebut dijabarkan dengan pemodelan 2D menggunakan software Mag2dc.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengolahan Data Magnetik

3.1.1 Anomali Magnetik

Berdasarkan peta kontur anomali magnetik pada Gambar 2 terdapat intensitas magnetik yang berkisar dari -2800 nT hingga 1800 nT. Intensitas anomali magnetik tinggi dominan berada pada bagian tepi daerah penelitian, yaitu berada pada bagian barat, timur laut, barat daya dan tenggara dengan nilai berkisar 200 nT hingga 1800 nT. Intensitas anomali magnetik sedang tersebar merata di daerah penelitian, dengan rentang nilai berkisar dari -600 nT hingga 200 nT. Intensitas anomali magnetik rendah dominan berada pada bagian tengah dan sedikit bagian tepi daerah penelitian, dengan nilai berkisar -2800 nT hingga -600 nT. Namun intensitas magnetik pada daerah penelitian didominasi oleh nilai negatif yang tersebar di tengah peta kontur dengan nilai berkisar -200 nT hingga -1800 nT. Kecenderungan intensitas magnetik negatif ini diduga disebabkan oleh adanya sumber panas, reservoir dan pengaruh batuan sedimen vulkanik yang telah mengalami demagnetisasi. Intensitas magnetik negatif ini sering terjadi pada studi panas bumi karena mineral-mineral feromagnetik yang ada pada lapisan batuan akan kehilangan sifat kemagnetannya bila terjadi kenaikan temperatur (Telford dkk., 1990).

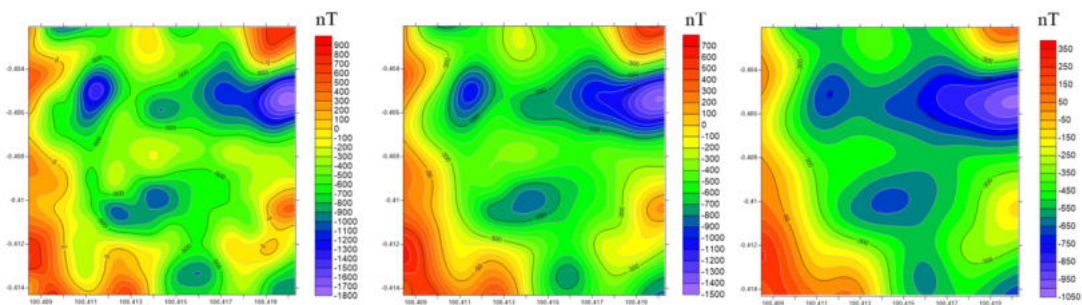


Gambar 2 Peta kontur anomali magnetik

Pada daerah penelitian juga terdapat pengaruh anomali magnetik pada kedalaman dangkal (anomali magnetik lokal). Pengaruh anomali magnetik lokal teridentifikasi dengan adanya banyak pasangan dipol-dipol magnetik yang digambarkan dalam bentuk klosur nilai magnetik positif dengan klosur nilai magnetik negatif. Interpretasi pada anomali magnetik lokal lebih terfokus pada daerah dengan kedalaman dangkal, sedangkan yang menjadi target penelitian pada daerah prospek panas bumi berada pada zona yang dalam. Untuk memudahkan dalam proses interpretasi pada zona yang dalam, maka perlu dilakukan proses kontinuasi ke atas terhadap data anomali magnetik total untuk mereduksi pengaruh nilai anomali magnetik pada kedalaman dangkal.

3.1.2 Anomali Magnetik Hasil Kontinuasi ke Atas

Berdasarkan Gambar 3 terlihat adanya penekanan efek regional pada setiap ketinggian. Efek regional ini tergambar dalam bentuk pola kontur magnetik yang jelas dan teratur. Sedangkan efek lokal teridentifikasi dengan adanya dipol-dipol magnetik yang berdekatan dan tersusun secara rapat dan tidak teratur. Dipol-dipol magnetik ini digambarkan dalam pola klosur nilai magnetik positif dengan klosur nilai magnetik negatif. Semakin tinggi kontinuasi ke atas yang dilakukan pada peta kontur, efek regionalnya akan terlihat semakin dominan dan efek lokalnya akan semakin terhilangkan.



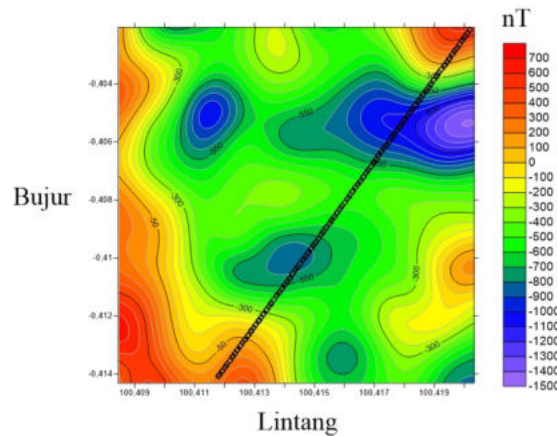
Gambar 3 Kontinuasi ke atas 50 m, 100m dan 150 m

Berdasarkan hasil penerapan kontinuasi ke atas ini, peta kontur 100 m dipilih untuk dilakukan pemodelan. Hal tersebut dikarenakan peta kontur hasil penerapan kontinuasi ke atas 100 m ini sudah dianggap mewakili atau cukup memperlihatkan anomali regional magnetik untuk diinterpretasikan. Selain itu efek lokalnya belum terlalu terhilangkan. Sementara itu hasil kontinuasi ke atas 150 m sudah terlihat terlalu mendominasi efek regionalnya, tanpa adanya pengaruh dari efek lokal yang berada pada kedalaman dangkal, sehingga anomali asli yang ada pada peta kontur sudah tidak terlihat lagi.

3.1.3 Sayatan pada Peta Kontur Hasil Kontinuasi ke Atas

Pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m akan dibuat sayatan yang berarah timur laut hingga barat daya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sayatan ini nantinya akan menampilkan plot anomali magnetik terhadap posisi. Sayatan AA' ini dipilih karena melewati zona sesar minor yang

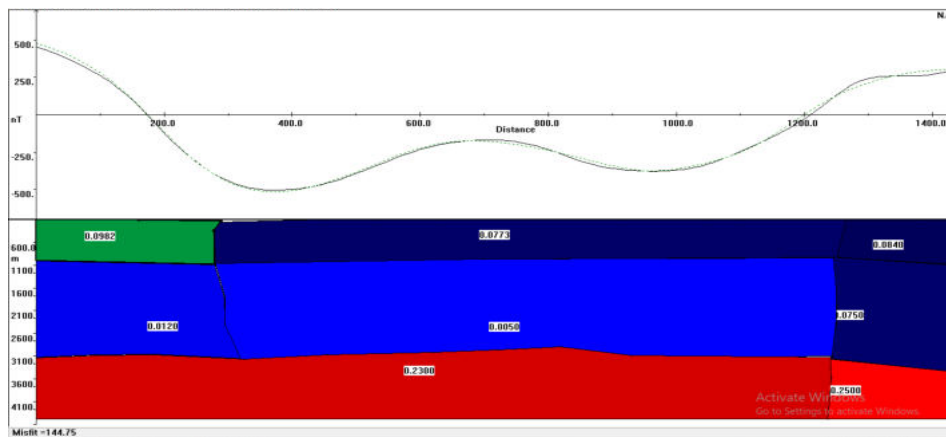
dibuktikan melalui pola klosur positif dan negatif yang berubah secara signifikan dan berada pada pola kontur yang lebih rapat. Keberadaan zona sesar minor ini juga didukung oleh data geologi yang ada pada daerah penelitian. Alasan lain pemilihan Sayatan AA' ini karena melewati zona yang memiliki nilai anomali magnetik rendah dan melewati dua manifestasi panas bumi yang berupa mata air panas dan kolam air panas. Dari beberapa alasan diatas maka dibuatlah sayatan pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m yang berarah timur laut hingga barat daya.



Gambar 4 Sayatan pada peta kontur hasil kontinuasi ke atas 100 m

3.2 Pemodelan Anomali Magnetik 2D Sayatan AA'

Pemodelan pada sayatan AA' dilakukan dengan software Mag2dc. Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam pemodelan ini, diantaranya yaitu nilai IGRF yang melewati sayatan AA' yaitu sebesar 42705 nT, sudut inklinasi sebesar -18,0 derajat, sudut deklinasi sebesar -0,2 derajat dan kedalaman maksimum 4500 m. Berikut ini adalah hasil pemodelan dua dimensi dari sayatan AA' seperti yang dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Hasil pemodelan 2D sayatan AA'

Pada sayatan AA' kontras suseptibilitas cenderung bervariasi pada tiap-tiap lapisannya. Lapisan paling atas terdiri dari beberapa jenis batuan dengan nilai suseptibilitasnya tidak jauh berbeda yaitu 0,0982 SI (hijau) yang berada pada bagian kiri sayatan (timur laut), selanjutnya 0,0773 SI (biru tua) yang berada pada bagian tengah sayatan dan 0,0840 SI (biru tua) yang berada pada bagian kanan sayatan (barat daya). Secara geologi lapisan pertama ini diidentifikasi sebagai jatuhnya piroklastik Gantung, batuan hasil erupsi Gunung Marapi dan kelompok batuan vulkanik Gunung Marapi (Hadi dkk., 2014). Berdasarkan nilai suseptibilitasnya batuan yang melapisi lapisan atas ini adalah batuan sedimen, lempung, bongkohan batuan pasir dan kerikil. Lapisan pertama ini memiliki kedalaman hingga 1000 m.

Lapisan kedua terdiri dari batuan dengan variasi nilai suseptibilitas sebesar 0,012 SI (biru muda) yang berada pada bagian kiri sayatan (timur laut), selanjutnya 0,005 SI (biru muda) yang berada pada bagian tengah sayatan dan 0,0750 SI (biru tua) yang berada pada bagian kanan sayatan

(barat daya). Berdasarkan nilai suseptibilitasnya batuan yang melapisi lapisan atas ini adalah batuan sedimen dan alterasi lempung. Secara geologi lapisan kedua diidentifikasi sebagai jatuhnya piroklastik tua, jatuhnya piroklastik Gantung, lava Parapati, lava pra-Marapi, satuan batu sabak dan bongkahan batuan yang lebih tua yang termasuk dalam batuan vulkanik Gunung Marapi. Lapisan kedua ini berada pada kedalaman ± 1000 m hingga ± 3000 m.

Lapisan ketiga terdiri dari batuan dengan variasi nilai suseptibilitas sebesar 0,23 SI (merah tua) yang berada pada bagian kiri sayatan (timur laut) dan 0,25 SI (merah muda) yang berada pada bagian kanan sayatan (barat daya). Lapisan ini berada pada kedalaman di bawah 3000 m. Lapisan ketiga ini diidentifikasi sebagai batuan andesitik, andesitik terubah, dan basaltik yang termasuk dalam jenis batuan beku (batuan vulkanik Gunung Marapi).

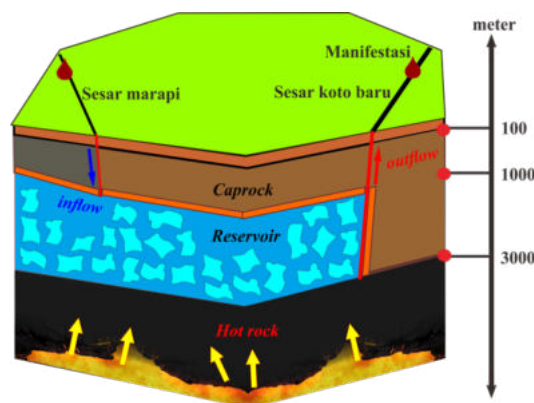
Anomali magnetik pada sayatan AA' memperlihatkan nilai -515,18 nT hingga 477,21 nT. Nilai anomali pada bagian timur laut dan barat daya secara umum lebih tinggi, sedangkan pada bagian tengah sayatan nilai anomali magnetiknya rendah. Penurunan nilai anomali ini disebabkan adanya lapisan reservoir di sekitar zona tersebut. Penurunan nilai magnetik ini juga disebabkan adanya pemanasan batuan oleh magma yang berada di bawahnya, sehingga batuan tersebut mengalami proses alterasi yang kemudian memunculkan indikasi terjadinya demagnetisasi.

3.3 Interpretasi Magnetik Panas Bumi Sayatan AA'

Hasil pemodelan magnetik pada sayatan AA' ini selanjutnya diinterpretasikan untuk dicari hubungan dengan sistem panas bumi yang terdiri dari beberapa komponen utama yaitu sumber panas, reservoir dan batuan penudung. Pada umumnya batuan panas yang ada pada sistem panas bumi memiliki kemenerusan dengan magma. Batuan panas ini akan menghantarkan panas menuju zona reservoir, yang berguna untuk memanaskan fluida di reservoir, sehingga air yang ada pada zona reservoir ini terpanaskan dan menjadi uap (*steam*).

Pemodelan pada sayatan AA' dapat menjelaskan struktur di bawah permukaan yang berupa zona sesar dan sistem panas bumi yang menjadi penyebab anomali. Zona sesar ini berguna sebagai tempat masuk dan keluarnya (*inflow* dan *outflow*) fluida panas bumi yang berkaitan erat dengan sistem fluida hidrotermal. Zona yang memiliki nilai anomali magnetik rendah ini diduga sebagai zona reservoir yang mencakup wilayah yang cukup luas. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nuha dkk. (2014) juga mendapatkan hasil yang sama, yaitu adanya sesar minor yang berada pada klosur positif dan negatif yang tersusun rapat pada peta kontur.

Lapisan batuan paling atas yang dekat dengan permukaan digambarkan sebagai lapisan *clay cap* (batuan tudung). Batuan yang diindikasikan pada lapisan ini adalah batuan sedimen dengan litologi batuan berupa lempung, breksi, pasir dan krikil. Lapisan ini berada pada kedalaman hingga 1000 m. Sementara lapisan setelahnya diindikasikan sebagai lapisan reservoir dengan jenis batuan antara lain satuan batu sabak, lava pra-Marapi, jatuhnya piroklastik tua dan bongkahan-bongkahan batuan yang berasal dari batuan yang lebih tua. Lapisan ini berada pada kedalaman sekitar 1000 m hingga 3000 m. Sementara lapisan paling bawah merupakan batuan beku yakni andesit Gunung Marapi yang menjadi batuan *hot rock* atau sumber panas yang memiliki kemenerusan dengan magma Gunung Marapi. Batuan *hot rock* ini berada pada kedalaman di bawah 3000 m. Interpretasi dari sayatan AA' ini dapat digambarkan dalam suatu sistem panas bumi seperti yang dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Gambar sistem panas bumi Nagari Aia Angek

IV. KESIMPULAN

Anomali magnetik pada daerah penelitian berkisar dari (-2800) nT hingga 1800 nT, namun intensitas magnetik pada daerah penelitian ini didominasi oleh nilai negatif. Hal ini dikarenakan adanya sumber panas, reservoir dan pengaruh batuan sedimen vulkanik yang telah mengalami demagnetisasi.

Pemodelan sistem panas bumi pada sayatan AA' dapat menggambarkan sistem panas bumi yang diduga sebagai penyebab anomali. Dimana terdapat zona sesar minor yang berguna sebagai tempat masuk dan keluarnya fluida panas bumi, lapisan *caprock* atau batuan tudung, lapisan *reservoir* sebagai tempat penyimpanan panas dan lapisan paling bawah didominasi oleh batuan beku andesit-basaltik Gunung Marapi yang menjadi batuan *hot rock* atau sumber panas yang memiliki kemenerusan dengan magma Gunung Marapi.

DAFTAR PUSTAKA

- Broto, S., 2011, 'Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas Bumi', Teknik, Vol.32(1), hal.79-87.
- Gaffar, E.Z., Dadan, D.W. dan Djedi, S.W., 2007, 'Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panasbumi', Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol. 8, No.2, hal. 98-118.
- Hadi, M. N. dan Kusnadi, D., 2014, 'Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pariangan Kabupaten Tanah Datar', Pusat Sumber Daya Geologi, Provinsi Sumatera Barat.
- KESDM, 2017, Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1, Edisi Pertama, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- KESDM, 2020, Potensi Besar Belum Termanfaatkan, viewed 3 April 2020, <<http://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/27/2518/potensi.besar.belum.termanfaatkan.46.proyek.panas.bumi.siap.dijalankan> >
- Nuha, M. U., Yulianto, T. dan Harmoko, U., 2014, 'Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Diwak-derekan Berdasarkan Data Magnetik', Youngster Physics Journal, Vol.3(2), hal.129-134.
- Rafmin, F., Efendi, R. dan Sandra, S., 2016, 'Pemodelan 2D Reservoir Geotermal Menggunakan Metode Geomagnet Pada Lapangan Panas Bumi Mapane Tambu, Natural Science', Journal of Science and Technology, Vol.5(2).
- Rajab, R., Palloan, P. dan Yani, A., 2016, 'Interpretasi Model Anomali Magnetik Area Panas Bumi Daerah X Kabupaten Polewali Mandar', Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika, Vol.12(2), hal. 109-218.
- Telford, W., Geldart, P., Shreff, E., Keys, A., 1990, Applied Geophysics Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge.