

Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Marana Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah Berdasarkan Data Anomali Magnetik

Yustiani Frastika¹, Dikdik Risdianto², Mochamad Nukman³, Eddy Hartantyo⁴

^{1,4}Dosen Fisika, Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara.

²Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

³Dosen Fakultas MIPA, Program Studi Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Korespondensi Penulis: frastikakupagan@gmail.com*

Abstract. *The existence of Marana geothermal manifestations of hot springs scattered in Masaingi Sub-district, Donggala District, Central Sulawesi Province, indicates geothermal prospect zone. Therefore, in order to obtain the subsurface model and to interpret the prospect zone, has been conducted an interpretation of Marana geothermal subsurface area based on magnetic anomaly data. The research uses secondary data of magnetic anomaly obtained from Centre for Geological Resources, Bandung, Indonesia. The research area is located on UTM zone system 50 which close to the magnetic equator, therefore the reduction to equator (RTE) process is applied to the IGRF corrected dan diurnal variations. The Upward Continuation is conducted to obtain a regional magnetic anomaly on 600 meters. Furthermore, 2.5-dimensional modeling on subsurface had done by the Talwani method using Software Oasis Montaj. The 2.5-dimensional modeling results show that the contrast of magnetic susceptibility value of Marana Geothermal rocks. Medium magnetic susceptibility value are metamorphic rock complex and Tinombo Alhburg Formation with values ranging from 0,69-0,8 ($\times 10^{-2}$ SI). Formation of Molasa Celebes Sarasin and Sarasin have low magnetic susceptibility with values 0,007-0,01 ($\times 10^{-2}$ SI), whereas high magnetic susceptibility value are granite and granodiorite ($1,2 \times 10^{-2}$ SI). Thenew intrusion is found in the body of granite and granodiorite with magnetic susceptibility value 2,1 ($\times 10^{-2}$ SI). Based on the result of Marana geothermal modelling, the prospect zone (reservoir) is estimated in the West of research area which near the Masaingi hot spring. The prospect zone is estimated to be sandstone at a depth of ± 1200 metre. The heat source is the new intrusion thought to be a heat source (diorite) with a depth of > 4500 m. Clay cap is predicted to be an altered sandstone of argillitic alteration. The Masaingi hot spring is indicated to be an upflow zone just above the heat source, while the outflow zone is estimated to be in the southern of the research area.*

Keywords: *Marana geothermal, Magnetic anomaly data, upflow zone, outflow zone, magnetic susceptibility.*

Abstrak. Kemunculan manifestasi Panas bumi berupa mata air panas yang tersebar pada 6 titik di Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah mengindikasikan adanya zona prospek panas bumi. Oleh karena itu, untuk memperoleh model bawah permukaan serta menginterpretasikan zona prospek di daerah penelitian telah dilakukan penelitian mengenai interpretasi bawah permukaan daerah panas bumi Marana berdasarkan data anomali magnetik. Penelitian ini menggunakan data sekunder anomali magnetik yang diperoleh dari Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung, Indonesia. Daerah penelitian terletak pada sistem UTM zona 50 tepatnya berada dekat dengan ekuator magnetik, sehingga dilakukan proses reduksi ke ekuator (RTE) pada data anomali magnetik total terkoreksi IGRF dan variasi harian. Proses kontinuitas ke atas dilakukan untuk memperoleh anomali magnetik regional pada ketinggian 600 meter. Selanjutnya pemodelan 2,5 dimensi bawah permukaan dilakukan dengan metode Talwani menggunakan Software Oasis Montaj. Hasil pemodelan 2,5 dimensi menunjukkan kontras nilai suseptibilitas magnetik pada batuan penyusun daerah Panas Bumi Marana. Nilai suseptibilitas magnetik sedang yaitu pada kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo Alhburg dengan nilai berkisar antara 0,69-0,8 ($\times 10^{-2}$ SI). Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin memiliki nilai suseptibilitas magnetik rendah yaitu 0,007-0,01 ($\times 10^{-2}$ SI), sedangkan nilai suseptibilitas magnetik tinggi terdapat pada batu Granit dan granodiorit ($1,2 \times 10^{-2}$ SI). Pada tubuh batu granit dan granodiorit diduga terdapat terobosan muda berupa diorit dengan nilai suseptibilitas magnetik 2,1 ($\times 10^{-2}$ SI). Berdasarkan hasil pemodelan sistem Panas bumi Marana, zona prospek (reservoir) diperkirakan berada di bagian barat daerah penelitian dekat mata air panas Masaingi. Zona prospek diperkirakan berupa batu pasir pada kedalaman ± 1200 meter. Batuan sumber panas berupa intrusi muda diduga sebagai heat source (diorit) dengan kedalaman > 4500 meter.

* Yustiani Frastika, frastikakupagan@gmail.com

Batuan pendudung (clay cap) diperkirakan berupa batu pasir terubah hasil ubahan argilitik. Mata air panas Masaingi diindikasikan merupakan zona upflow tepat berada di atas heat source, sedangkan zona outflow diperkirakan berada di bagian selatan daerah penelitian.

Kata Kunci: Panas bumi Marana, Data anomali magnetik, zona Upflow, zona Outflow, suseptibilitas magnetik.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang Penelitian

Daratan Pulau Sulawesi telah mengalami proses tektonik regional berulang kali yang mengakibatkan perubahan seluruh batuan dan memunculkan kerucut-kerucut intrusi batuan granit serta pembentukan struktur rekahan baru, sesar geser maupun sesar normal (Bakrun dkk., 2004). Proses tektonik yang terjadi juga menyebabkan kemunculan struktur-struktur sesar yang kompleks mulai dari selatan hingga ke utara maupun ke bagian timur dan tenggara Pulau Sulawesi. Kontribusi nyata atas ketersediaan energi Panas bumi di Wilayah Sulawesi, dibuktikan dengan munculnya beberapa manifestasi Panas bumi. Salah satu daerah yang memiliki potensi Panas bumi yaitu panas bumi Marana yang terletak di daerah Sulawesi bagian Barat, diindikasikan dengan kemunculan manifestasi Panas bumi di permukaan berupa mata air panas bertemperatur tinggi. Daerah Panas bumi Marana terdapat 6 titik mata air panas dengan temperatur permukaan di setiap titik berkisar antara 50 °C – 90 °C dengan pH normal 7,0 - 8,1 (Bakrun dkk., 2004).

Metode geomagnet merupakan salah satu metode geofisika yang dapat diterapkan dalam eksplorasi panas bumi. Metode geomagnet didasarkan pada pengukuran variasi intensitas magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi (anomali) benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi (suseptibilitas magnetik). Perbedaan batuan akan memberikan respon suseptibilitas yang berbeda berkaitan dengan sifat kemagnetan batuan tersebut. Batuan dalam sistem Panas bumi pada umumnya memiliki magnetisasi yang rendah dibandingkan dengan batuan sekitarnya (Indratmoko dkk., 2009). Kondisi seperti ini dapat terjadi akibat proses demagnetisasi pada batuan. Nilai suseptibilitas magnetik rendah yang disebabkan oleh proses demagnetisasi pada batuan dapat menginterpretasikan zona reservoir pada sistem Panas bumi (Sumintadireja, 2005). Dalam penelitian ini, metode geomagnet digunakan untuk menginterpretasikan zona prospek di daerah penelitian serta memberikan gambaran mengenai kondisi bawah permukaan dengan pemodelan menggunakan data anomali magnetik.

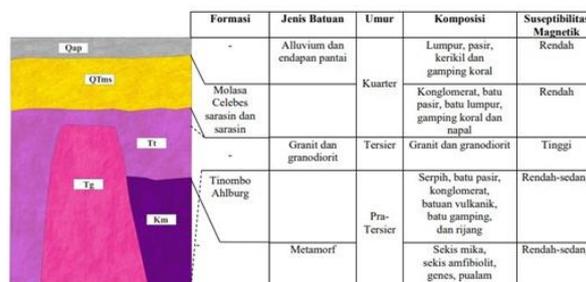
Tujuan Penelitian Penelitian ini bertujuan:

- 1) Menginterpretasi kondisi bawah permukaan pada sistem Panas bumi Marana, Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah ditinjau dari sumber anomali magnetik batuan.
- 2) Melakukan pemodelan (Forward Modelling) bawah permukaan pada sistem Panas bumi Marana, Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan data anomali magnetik.
- 3) Membuat model sistem Panas bumi Marana, Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan integrasi data anomali magnetik dan geologi

TINJAUAN PUSTAKA

Daerah penelitian Panas bumi Marana terletak di desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah. Geomorfologi daerah penelitian dan sekitarnya didominasi oleh perbukitan terjal, perbukitan bergelombang sedang-lemah serta pedataran dengan ketinggian berkisar antara 200-1500 m dari permukaan laut. Bentuk morfologi pada perbukitan bergelombang sedang-lemah sebagian dibangun oleh tubuh intrusi granit yang telah mengalami tingkat erosi kuat dan batuan sedimen yang membentuk lembah-lembah akibat pengikisan air. Secara umum bentuk topografi cenderung melandai ke arah pantaidan adanya penekukan topografi akibat struktur maupun tingkat erosi yang kuat (Bakrun dkk., 2004).

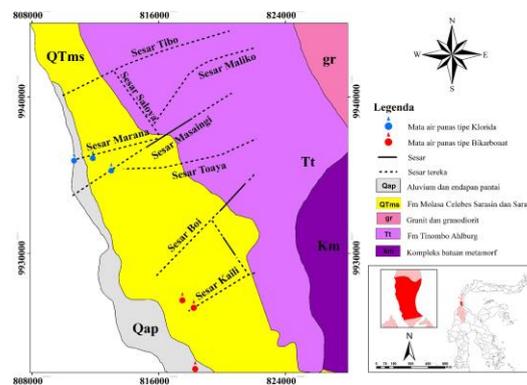
Menurut Sukanto (1973) dalam geologi Lembar Palu dan penyelidikan di lapangan oleh Bakrun dkk. (2004), formasi batuan pada daerah penelitian terdiri atas kompleks batuan metamorf, Formasi Tinombo Ahlburg, batuan intrusi, Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin, Aluvium dan endapan pantai. Ringkasan stratigrafi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Ringkasan stratigrafi daerah penelitian (Sukanto, 1973)

Sesar Palu-Koro merupakan sesar utama yang melewati daerah penelitian. Sesar ini berarah barat laut-tenggara. Menurut Bakrundkk. (2004) terdapat sekitar delapan struktur sesar yang merupakan pengontrol Panas bumi Marana (Gambar 2) antara lain sesar tibo, sesar saloya, sesar maliko, sesar marana, sesar masaingi, sesar toaya, sesar boi dan sesar kaili.

Gejala kenampakan Panas bumi di permukaan pada daerah penelitiandiindikasikan sebagai terobosan batuan panas beserta sesar sebagai pengontrolkemunculan Panas bumi. Manifestasi yang muncul di permukaan berupa rembesan mata air panas melalui tubuh batuan sedimen. Penyelidikan geokimia dilapangan (Bakrun dkk. 2004) menunjukkankemunculan beberapa manifestasi Panasbumi berupa mata air panas yang tersebar pada 6 titik lokasi.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian(Sukamto, 1973; Bakrun dkk., 2004)

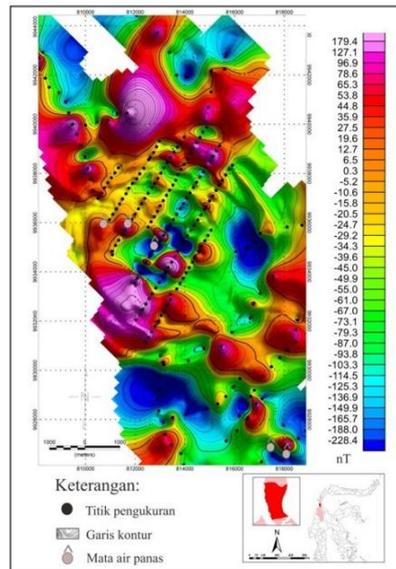
METODE PENELITIAN

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- 1) Data sekunder dengan metode geomagnet tahun 2004 dari Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), Bandung untuk daerah Panas bumi Marana, Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah. Data yang diperoleh berupa nilai medan magnet total pada daerah penelitian yang terdiri dari waktu pengambilan data, nilai pembacaan medan magnet, nilai IGRF daerah penelitian, dan variasi harian. Selain itu juga disertakan data nilai koreksi harian yang berisi waktu pengukuran, nilai pembacaan dan koreksi pembacaan.
- 2) Data informasi geologi permukaan di daerah Panas bumi Marana, Desa Masaingi, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah bersumber dari Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), Bandung.

Prosedur pengolahan data secara sistematis disajikan dalam bentuk diagram alir untuk memudahkan pemahaman dalam tahapan penelitian. Berikut ini disajikan diagram alir pengolahan data (Gambar 3) dan diagram alir pemodelan 2,5D (Gambar 4).

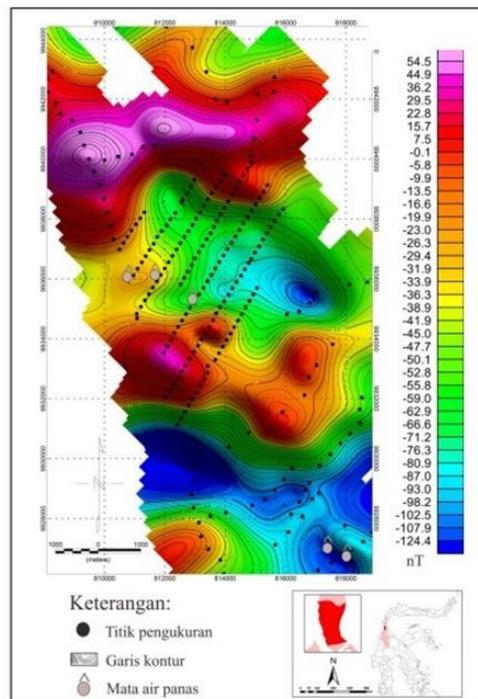
bagian anomali yang berbeda, antara lain anomali magnetik rendah, sedang dan tinggi. Anomali magnetik rendah terletak dibagian utara, selatan dan bagian tengah daerah penelitian yang ditandai dengan warna biru muda-tua. Nilainya berkisar antara -230 nT sampai -93 nT. Nilai anomali magnetik sedang berkisar antara -80nT sampai -15 nT ditandai dengan warnahijau-kuning yang tersebar hampir di seluruh daerah penelitian. Anomali magnetik tinggi yang tersebar di bagian utara dan barat daerah penelitian bernilai antara 35 nT sampai 180 nT ditandai dengan warna merahmuda



Gambar 5. Peta kontur anomali medan magnet total

2. Reduksi ke Ekuator

Peta kontur anomali medan magnet hasil reduksi ke ekuator ditunjukkan pada Gambar 6. Reduksi ke ekuator merupakan proses perhitungan nilai anomali medan magnet dengan asumsi bahwa pengukuran dilakukan pada area ekuator medan magnet bumi. Hal ini menyebabkan arah magnetisasi anomali medan magnet memiliki pola kontur yang berarah horizontal (membawa posisi benda ke arah ekuator magnetik). Reduksi ke ekuator yang telah dilakukan pada penelitian ini berfungsi untuk menunjukkan langsung posisi benda penyebab anomali tepat di bawahnya.



Gambar 7. Peta kontur anomaly regional ketinggian 600 meter

4. Interpretasi Kualitatif

Hasil penggabungan peta kontur anomali regional hasil reduksi ke ekuator dan peta geologi daerah penelitian (Gambar 8) menunjukkan persebaran anomali medan magnet dengan nilai rendah hingga tinggi. Hasil penggabungan peta dianalisis berdasarkan nilai anomali magnetik, struktur geologi dan komposisi batuan penyusun di daerah penelitian. Gambar 8. Penggabungan peta kontur anomali magnetik tereduksi ke ekuator dengan peta geologi daerah penelitian. Anomali magnetik sangat rendah yang ditandai dengan huruf A pada bagian selatan daerah penelitian memiliki nilai berkisar antara -125 nT sampai -98 nT. Hal ini diduga berkaitan dengan beberapa faktor. Pertama, komposisi penyusun batuan daerah A diduga merupakan batuan yang bersifat non magnetik. Batuan penyusun daerah A adalah Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin yang terdiri atas konglomerat, batu pasir, batu lumpur, batu gamping-koral dan napal. Kedua, kemunculan manifestasi berupa mata air panas pada daerah A diperkirakan memiliki keterkaitan dengan nilai anomali magnetik yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Kemunculan manifestasi pada daerah A diinterpretasikan sebagai penyebab adanya sesar Kaili sebagai pengontrol keluarnya mata air panas Yompo 1 dan Bayosa. Anomali magnetik rendah hingga sedang yang ditandai dengan huruf B dan C terletak di bagian tengah daerah penelitian. Nilai anomali magnetik batuan tersebut berkisar antara -100 nT sampai -20 nT. Daerah B tersusun atas Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin. Anomali rendah hingga sedang yang ditunjukkan pada daerah B diinterpretasikan sebagai reservoir pada sistem Panas bumi Marana. Batuan pada daerah ini diduga telah mengalami

proses demagnetisasi batuan, alterasimaupun pelapukan. Hal ini yang menyebabkan nilai anomali magnetik pada

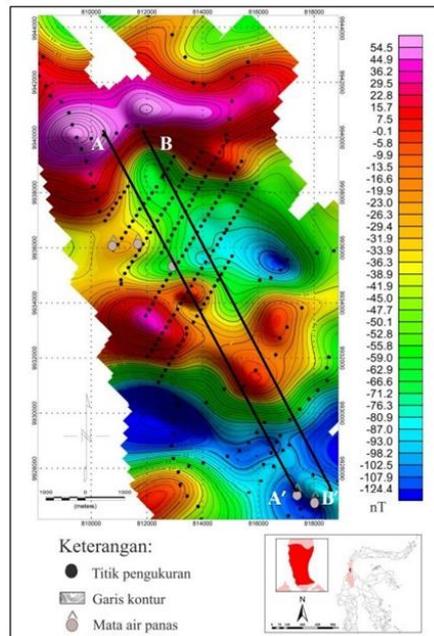
daerah B cenderung bernilai rendah. Selain itu, kemunculan manifestasi panas bumi pada daerah B berupa mata air panas Masaingi, Marana 1 dan Marana 2 ditafsirkandikontrol oleh keberadaan sesar Masaingi dan sesar Marana. Sedangkan, daerah C terdiri atas kontak antara Formasi Tinombo Alhburg dan formasi Molasa Celebes Sarasindan Sarasin. Formasi Tinombo Alhburg terdiri atas serpih, batu pasir, konglomerat, batuan vulkanik, batu gamping dan rijang. Anomali magnetik rendah hingga sedang pada daerah C diperkirakan memiliki keterkaitan dengan litologi batuan tersebut. Anomali magnetik tinggi yang melingkar dibagian tengah, utara dan timur laut daerahpenelitian memiliki nilai anomali yang berkisar antara 20 nT hingga 50 nT (huruf D, E dan F). Daerah D dan E ditafsirkan terdiri atas batuan yang masih segar dan belummengalami alterasi maupun pelapukan.

Bakrun dkk. (2004) menjelaskan bahwa massa panas berasal dari sisa panas magmatik dari terobosan muda yang masuk melalui rekahan batuan granit. Anomali tinggi pada daerah D dan E diperkirakan akibat adanya intrusi muda berupa diorit yangtersingkap di bawah permukaan. Hal ini bersesuaian dengan penyelidikan terdahulu oleh Bakrun dkk. (2004) dan Indrawati (2016) bahwa terdapat anomali positif pada daerah D dan E serta terdapat batuan intrusi dengandensitas cukup tinggi disekitar daerahtersebut. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa anomali magnetik tinggi pada daerahD dan E diduga sebagai akibat dari sisa panas magmatik akibat kegiatan terobosan muda (diorit). Sedangkan, anomali tinggi pada daerah F ditafsirkan sebagai tubuh batuan granit yang mengintrusi batuan metamorf tetapi tidak muncul ke permukaan. Batuan granit merupakan intrusi besar secara regional yang diperkirakan mencakupseluruh daratan pulau Sulawesi (Bakrun dkk.,2004).

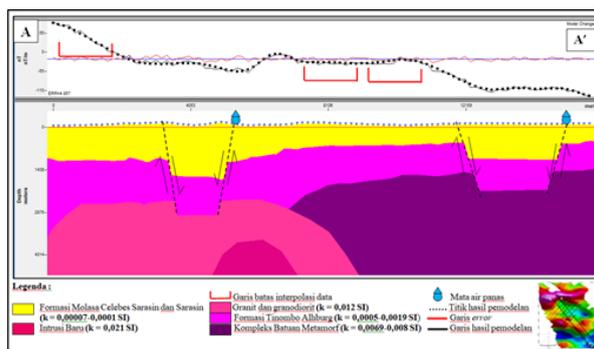
5. Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dilakukan pada dataanomali regional ketinggian 600 meter hasil reduksi ke ekuator. Data anomali regional tersebut dilakukan pemodelan 2,5D menggunakan Software Oasis Montaj 6.4.2. Pemodelan dilakukan menggunakan data anomali magnetik setelah dilakukan proses RTE yang bersifat regional pada ketinggian 600meter dikarenakan anomali target dianggap sudah berada diatas sumber anomali dibandingkan pada data anomali medan magnet total sebelum dilakukan reduksi. Pemodelan 2,5D dilakukan berdasarkan forward modelling metode Talwani. Metode inimengandaikan bahwa benda penyebab anomali berbentuk polygon tertutup dengan panjang berhingga. Penelitian dilakukandengan cara trial and error yaitu denganmencocokkan profil hasil observasi, sehingga profil hasil perhitungan dapat menyerupai profil observasinya, agar diperoleh perkiraan bentuk geometri maupun

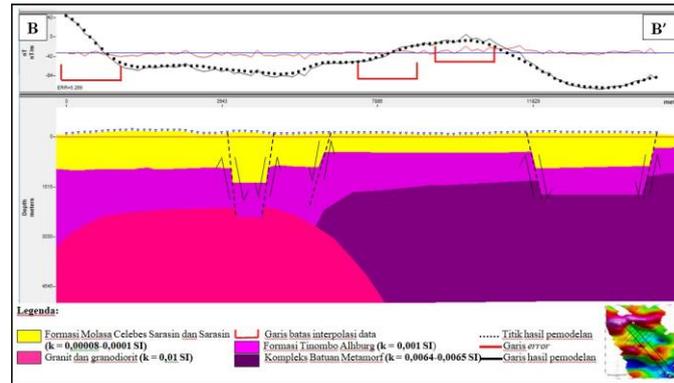
kedalaman dari profil tersebut. Interpretasi ini dilakukan dengan caramembuat sayatan pada peta anomali regional hasil reduksi ke ekuator dengan ketinggian 600 meter (Gambar 9). Pemodelan 2,5D dilakukan dengan dua sayatan yaitu A-A' dan B-B' dengan kedalaman 5000 meter. Sayatan A-A' dibuat melewati manifestasi Panas bumi daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 10, sedangkan sayatan B-B' dibuat sejajardengan sayatan A-A' ditunjukkan pada Gambar 11. Sayatan dibuat memotong hampir tegak lurus dengan panjang strike yang diperkirakan 8 km. Inputan pemodelan menggunakan Software Oasis Montaj untuk y+ dan y- adalah sepanjang 8 km disesuaikan dengan panjang strike untuk memperoleh model 2,5 D penampangn bawah permukaan daerah Panasbumi Marana



Gambar 9. Sayatan pemodelan bawah permukaan



Gambar 10 Hasil pemodelan 2.5 D padapenampang lintang sayatan A-A'



Gambar 11 Hasil pemodelan 2.5 D padapenampang lintang sayatan B-B'

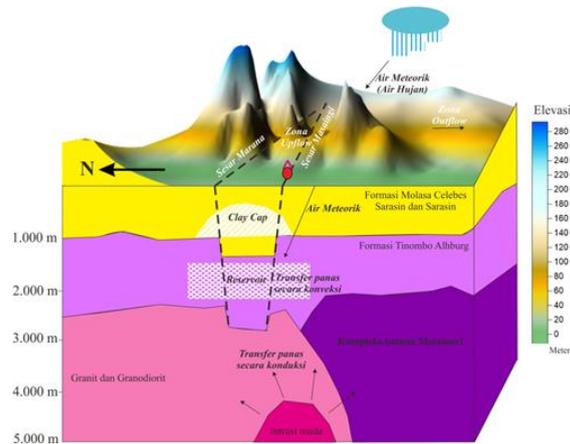
Model penampang bawah permukaan dibuat berdasarkan informasi geologi seperti umur maupun jenis batuan pada daerah penelitian. Penampang bawah permukaan pada sayatan A-A' (Gambar 10) tersusun atas kompleks batuan metamorf, Formasi Tinombo Alhburg, Granit dan granodiorit, serta Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin. Formasi Tinombo Alhburg terdiri atas serpih, batu pasir, konglomerat, batuan vulkanik, batu gamping dan rijang dengan nilai susceptibilitas magnetik $0,05-0,19 (x10^{-2} \text{ SI})$. Sedangkan, Formasi Celebes Sarasin dan Sarasin yang terdiri atas konglomerat, batu pasir, batu lumpur, batu gamping-koral dan napal dengan nilai susceptibilitas magnetik $0,007-0,01(x10^{-2} \text{ SI})$. Pada tubuh batu granit dan granodiorit diduga terdapat terobosan muda berupa diorit dengan nilai susceptibilitas magnetik $2,1 (x10^{-2} \text{ SI})$. Hasil pemodelan sayatan A-A' pada Gambar 10 menggambarkan batuan penyusun sistem panas bumi di daerah penelitian. Sayatan A-A' menunjukkan beberapa elemen penting yang berpengaruh dalam sistem panas bumi, yaitu struktur geologi (sesar), reservoir (batuan berpori), heat source (batuan sumber panas), dan clay cap (batuan tudung). Struktur geologi berupa sesar terlihat memotong susunan batuan Formasi Tinombo Alhburg, Granit dan granodiorit, serta Formasi Celebes Sarasin dan Sarasin. Struktur ini relatif berarah barat dayatimur laut yang diduga terjadi akibat pergerakan tektonik di Pulau Sulawesi. Sesar pada daerah ini merupakan zona lemah sebagai media keluarnya manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Sesar A-B dan C-D merupakan sesar normal Marana-Masaingi dan sesar normal Boi-Kaili yang diperkirakan membentuk graben. Komposisi Formasi Tinombo Alhburg berupa batu pasir diduga merupakan reservoir yang terdapat pada kedalaman $\pm 1200 \text{ m}$. Berdasarkan informasi data bor di lokasi penelitian (Nanlohi dkk., 2007 dalam Indrawati, 2016), batu ini diduga telah mengalami alterasi hidrotermal dengan intensitas ubahan sedang-kuat. Terobosan muda berupa diorit ditafsirkan sebagai batuan sumber panas yang terakumulasi di bawah permukaan pada tubuh batuan granit dan granodiorit. Batuan panas ini merupakan sumber panas yang diperkirakan memiliki kedalaman $>4500 \text{ m}$. Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin merupakan batuan sedimen dengan salah satu komposisi batuan yaitu batu

pasir. Batu pasir pada Formasi ini diduga sebagai claycap dengan porositas dan permeabilitas rendah yang dapat menahan keluarnya fluida panas bumi.

Hasil pemodelan sayatan B-B' ditunjukkan pada Gambar 11. Penampang bawah permukaan pada sayatan B-B' memiliki susunan batuan yang sama dengan sayatan A-A' yaitu, kompleks batuan metamorf, Formasi Tinombo Alhburg, Granit dan granodiorit, serta Formasi Celebes Sarasin dan Sarasin. Terdapat 5 struktur sesar yang dilewati sayatan B-B', antara lain sesar Marana, sesar Masaingi, Sesar Toaya, sesar Boi dan sesar Kaili yang cenderung berarah baratdaya-timurlaut. Sesar Marana dan sesar *Masaingi serta sesar Boidan Kaili merupakan sesar normal yang membentuk graben. Hasil gambaran sayatan B -B' menunjukkan kemiripan batuan penyusun pada sayatan A-A'. Kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo Alhburg memiliki nilai susceptibilitas magnetik berkisar antara 0,64- 0,65 ($\times 10^{-2}$ SI) dan 0,1 ($\times 10^{-2}$ SI). Batuan granit dan granodiorit memiliki nilai susceptibilitas magnetik yang relatif tinggi yaitu 1 ($\times 10^{-2}$ SI). Sedangkan Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin memiliki nilai susceptibilitas magnetik yang relatif lebih rendah yaitu 0,008-0,01 ($\times 10^{-2}$ SI).*

6. Model Tentatif Daerah Panas Bumi Marana

Model tentatif panas bumi dibuat untuk menunjukkan gambaran suatu sistem panas bumi di daerah penelitian dengan mencocokkan data hasil sayatan A-A' dan B-B' model 2,5 D. Gambar 12 menggambarkan sistem panas bumi dengan empat elemen penting yaitu pertama, struktur geologi berupa sesar pengontrol keluarnya mata air panas. Pada saat aliran fluida menuju ke permukaan, fluida mengalami interaksi dengan batuan di sekitarnya dan mengalami pencampuran dengan meteoric water. Kedua, adanya reservoir pada kedalaman \pm 1200 meter yang diindikasikan berupa batu pasir pada Formasi Alhburg. Ketiga, clay cap atau batuan penudung pada kedalaman berkisar antara 0 hingga \pm 1.000 meter berupa batu pasir yang telah mengalami ubahan. Penyelidikan lapangan berupa data bor yang dilakukan oleh Nanlohi dkk. (2007) memperoleh hasil bahwa batu pasir termasuk ke dalam tipe ubahan argilitik yang berfungsi sebagai batuan penudung panas (Indrawati, 2016). Batuan ini termasuk ke dalam Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin. Keempat, batuan panas pada kedalaman $>$ 4.500 meter berupa diorit yang merupakan intrusi muda pada daerah penelitian. Batuan intrusi muda ini merupakan dapur magma sebagai sumber panas yang muncul akibat proses tektonik di Pulau Sulawesi.



Gambar 12. Model tentatif daerah Panas bumi Marana

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Kondisi bawah permukaan pada sistem Panas bumi Marana berdasarkan hasil pengolahan data geomagnet menunjukkan nilai anomali magnetik yang relatif tinggi pada bagian barat daerah penelitian dekat sesar Masaingi. Daerah ini diduga sebagai heatsource pada sistem Panas Bumi Marana, Sedangkan reservoir menunjukkan nilai yang relatif rendah akibat proses demagnetisasi batuan. Selain itu, kemunculan manifestasi Panas bumi berupa mata air panas dikontrol oleh keberadaan sesar yang cenderung berarah barat daya-timur laut. Nilai anomali magnetik rendah hingga sedang pada daerah penelitian diinterpretasikan berkaitan dengan kemunculan mata air panas.
- 2) Hasil pemodelan 2,5 D menggambarkan kontras nilai susceptibilitas magnetik pada batuan penyusun daerah Panas bumi Marana. Hasil pengolahan data menunjukkan nilai susceptibilitas magnetik sedang yaitu pada kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo Alhburg dengan nilai berkisar 0,0069-0,008 (SI). Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin memiliki nilai susceptibilitas magnetik rendah yaitu 0,07-0,1 ($\times 10^{-3}$ SI), sedangkan nilai susceptibilitas magnetik tinggi terdapat pada batu Granit dan granodiorit (0,012 SI). Pada tubuh batu granit dan granodiorit diduga terdapat terobosan mudaberupa diorit dengan nilai susceptibilitas smagnetik 0,21 (SI).
- 3) Pemodelan sistem panas bumi di daerah Panas bumi Marana terdiri atas empat elemen penting antara lain struktur geologi berupa sesar, reservoir, clay cap atau batuan penudung dan heat source. Batuan yang diperkirakan sebagai zona prospek (reservoir) adalah batu pasir pada kedalaman ± 1200 m. Clay cap diperkirakan 60 berupa batu pasir berubah hasil ubahan argilitik serta batuan sumber panas berupa intrusi muda diduga sebagai heat source (intrusi muda berupa diorit) dengan kedalaman >4500 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung atas kerjasama yang baik yang telah memberikan izin dalam pengambilan data sekunder sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakrun, Dirasutisna, S., Idral, A., Sumardi, E., Hasan, R., dan Situmorang, T., 2004, Penyelidikan Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Marana, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah, Departemen Energi dan Pusat Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Blakely, R.J., 1995, Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambridge University Press, USA.
- Indratmoko, P., Irham, N., dan Tony, Y., 2009, Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY dengan Metode Magnetik. Jurnal Berkala Fisika, Vol 12, No 3, Edisi Oktober, Hal 153-160.
- Indrawati, 2016, Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas bumi Marana, Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah berdasarkan Data Gravitasi, Tesis, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.
- Sukamto, R. 1973, Peta Geologi Tinjau Lembar Palu Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Skala 1:250.000, Bandung.
- Sumintadireja, P., 2005, Vulkanologi dan Geothermal, Diktat kuliah Vulkanologi dan Geothermal, ITB, Bandung.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. dan Keys.D.A., 1990, Applied Geophysics, Cambridge University Press, New York.