

	<p style="text-align: center;"><b>Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY</b></p> <p style="text-align: center;">Fakultas Teknik Geologi <b>UNIVERSITAS PADJADJARAN</b></p> <p style="text-align: center;">homepage : <a href="http://jurnal.unpad.ac.id/bsc">http://jurnal.unpad.ac.id/bsc</a></p>	<p>p-ISSN : 1693 - 4873 e-ISSN : 2541 - 514X</p> <p style="text-align: center;">Volume 15, No.3 Desember 2017</p>
---	---	---

## SURVEI MAGNETOTELURIK DAERAH PANAS BUMI MARANDA, KABUPATEN POSO, PROVINSI SULAWESI TENGAH

Winarno Awaludin<sup>1\*</sup>, Johannes Hutabarat<sup>1</sup>, Ildrem Syafri<sup>2</sup>, dan Asep Sugianto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi, Bandung. *Bidang Panas Bumi*

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung. *Program Magister(S2)*

[alwin.winamo@gmail.com](mailto:alwin.winamo@gmail.com)

### ABSTRAK

Survei Magnetotelurik (MT) telah dilakukan di daerah panas bumi Maranda yang terletak di Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah. Pola struktur geologi di daerah Maranda didominasi oleh arah utara-selatan yang berasosiasi dengan arah sesar naik Poso yang berada di bagian baratnya dan pola struktur berarah relatif barat-timur sebagai antitetiknya. Hasil perhitungan dengan geotermometer silika baik pada kondisi conductive cooling maupun adiabatic cooling menunjukkan nilai yang hampir sama dimana suhu reservoir berdasarkan geotermometer kelompok mata air panas Maranda berkisar antara 125-184°C. Tujuan survei ini adalah untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Pengukuran MT di daerah panas bumi Maranda telah dilakukan pada 42 titik ukur yang tersebar membentuk 8 buah lintasan berarah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur sekitar 1000 m. Peta tahanan jenis (MT) memperlihatkan adanya pola kelurusan berarah baratlaut-tenggara dengan sebaran tahanan jenis tinggi di sebelah baratdaya dan sebaran tahanan jenis rendah di sebelah timurlaut. Batuan penudung yang dicirikan dengan nilai tahanan jenis rendah berada di sebelah timurlaut di antara mata air panas Maranda dan mata air panas Kawende dengan pola yang membuka ke arah timurlaut. Batuan penudung ini diperkirakan berada di dekat permukaan hingga kedalaman 750 meter dengan ketebalan 500-750 meter.

**Kata kunci:** magnetotelurik, panas bumi, Maranda, Sulawesi Tengah

### ABSTRACT

*Magnetotelluric (MT) surveys have been conducted in the Maranda geothermal area located in Poso District, Central Sulawesi. The geological structure pattern in the Maranda region is dominated by the north-south direction associated with the Poso thrust fault in the west and the structures pattern of relative east-west trending as their antithetes. The results of calculations with silica geotherm meter in both conductive cooling and adiabatic cooling conditions show almost the same value that the reservoir temperature based on the geothermometric of the Maranda hot springs ranges from 125-184 ° C. The purpose of this survey is to knowing the structure of the subsurface resistivity that correlates with the geothermal system. Measurements of MT in geothermal Maranda have been done on 42 scattered points forming 8 trajectory direction southwest-northeast with the distance between the measuring point about 1000 m. The type resistance maps (MTs) show an alignment pattern in northwest-southeast direction with high resistance range in the south-west and low-end resistance range to the northeast. The cap rocks that are characterized by low-end resistance values are northeast of Maranda's hot springs and Kawende's hot springs with a pattern that opens to the northeast. The cap rocks are estimated to be near the surface to a depth of 750 meters with a thickness of 500-750 meters.*

**Key words:** magnetotelluric, geothermal, Maranda, Central Sulawesi

**PENDAHULUAN**

Pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkit listrik sampai saat ini masih diprioritaskan pada sistem panas bumi yang berasosiasi dengan lingkungan vulkanik karena mempunyai potensi yang besar dan lebih menarik dari sisi investasi. Kendala utama dari tidak berkembangnya pemanfaatan panas bumi non vulkanik adalah keterbatasan data dan pengetahuan tentang sistem panas bumi non vulkanik tersebut dibandingkan dengan sistem panas bumi di daerah vulkanik.

Daerah yang akan dijadikan sebagai bahan penelitian adalah daerah panas bumi Maranda, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Daerah panas bumi Maranda termasuk kedalam sistem panas bumi non vulkanik yang lingkungan geologinya tidak berasosiasi dengan gunungapi, kemungkinan berhubungan dengan tubuh batuan plutonik yang masih memiliki sisa panas dan tidak muncul di permukaan. Sisa panas dalam tubuh batuan plutonik inilah yang diperkirakan menjadi sumber panas dalam sistem panas bumi Maranda. Batuan plutonik tersebut diperkirakan berhubungan dengan aktivitas magmatik termuda yang terjadi pada Kala Plio-Plistosen, yaitu berupa terobosan granit di seluruh mandala geologi Sulawesi.

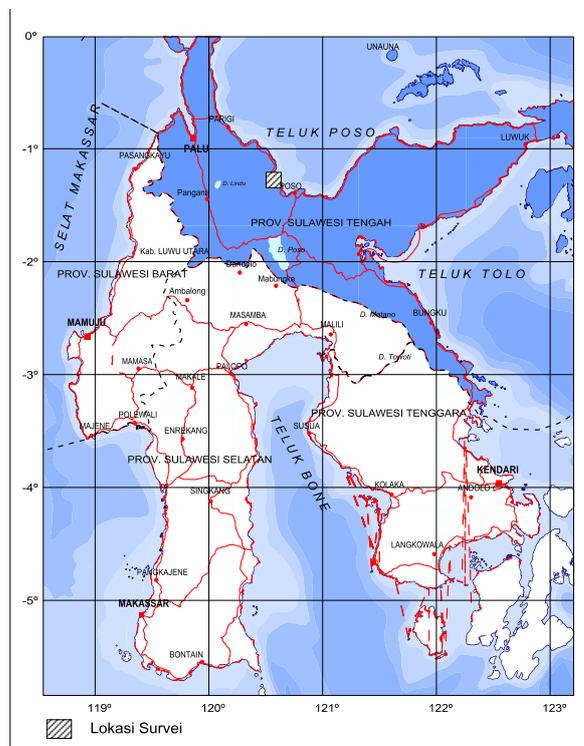
Untuk mengetahui karakteristik panas bumi dapat menggunakan beberapa tahapan eksplorasi diantaranya survei geologi, survei

hidrologi, survei geokimia, survei geofisika dan lain-lain. Salah satu survei geofisika yang digunakan untuk mengetahui karakteristik sistem panas bumi adalah Magnetotellurik (MT). Metode MT adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik (EM) alam untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan dengan cara melakukan pengukuran pasif komponen medan listrik (E) dan medan magnet (H) alam yang berubah terhadap waktu. Medan elektromagnet yang timbul memiliki spektrum frekuensi  $10^{-3} - 10^5$  Hz.

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Geologi Daerah Panas Bumi Maranda**

Berdasarkan jenis dan komposisi batuan penyusun, karakteristik fisik dan umur batuan, serta dilakukan perbandingan dengan geologi regional daerah setempat, maka diperoleh beberapa satuan batuan dengan urutan dari tua ke muda untuk daerah Maranda adalah Satuan Batuan Malihan (Km), Satuan Batupasir Karbonatan (Tpp), Satuan Batugamping (Qpg), Satuan Batupasir (Qpp), Koluvium (Qk), dan Aluvium (Qa). Pola struktur geologi di daerah Maranda didominasi oleh arah utara-selatan yang berasosiasi dengan arah sesar naik Poso yang berada di bagian baratnya dan pola struktur berarah relatif barat-timur sebagai antitetiknya (Gambar 1).



**Gambar 1** Peta lokasi daerah survey

Kelompok Manifestasi Maranda terdiri atas mata air panas, lumpur panas, tanah beruap (*steaming ground*), dan batuan ubahan. Pemunculan mata air panas berada di sepanjang sungai Tovu di dusun Maranda dengan temperatur 65-100°C, pH sekitar 6-9, debit 0,5-5 l/det, daya hantar listrik sekitar 1740- 2640  $\mu\text{S/cm}$ , tidak berasa, berbau tidak terlalu tajam, muncul pada celah aluvium dan batugamping, terdapat sinter travertin. Manifestasi lumpur panas memiliki temperatur 100°C pada temperatur udara 28,5°C, luas sekitar 0,5x0,5m, terdapat gelembung udara yang kuat, bau gas yang lemah. Di sekitar lumpur panas terdapat manifestasi panas bumi lainnya berupa mata air panas dan tanah beruap serta batuan ubahan. Mata air panasnya bertemperatur 99°C pada temperatur udara 29°C. Tanah beruap di Maranda cukup luas, yaitu sekitar 0,5x0,5 km dengan temperatur bervariasi antara 40-96°C pada temperatur udara 29,2°C

Batuan ubahan (alterasi batuan) di Maranda berada di sekitar tanah beruap dengan luas sekitar 3x3 m<sup>2</sup>. Kenampakan fisik alterasinya berupa mineral lempung berwarna abu-abu keputihan dan merah sampai kecoklatan yang terbentuk pada satuan koluvium. Hasil analisis dengan menggunakan metoda *portable infra-red mineral analysis* (PIMA) memperlihatkan bahwa mineral lempungnya terdiri dari halosit, opal, Mg-klorit, dan ankerit. Asosiasi mineral alterasinya menunjukkan bahwa alterasi batuan berlangsung pada lingkungan bertemperatur di bawah 150 °C dengan fluida sedikit asam, yaitu termasuk dalam tipe argilik.

#### **METODE**

Pengukuran MT di daerah panas bumi Maranda dilakukan pada 42 titik ukur yang tersebar membentuk 8 buah lintasan berarah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur sekitar 1000 m. Pengukuran dilakukan berdasarkan jumlah *stack* pada masing-masing band frekuensi, makin kecil band frekuensi maka makin sedikit jumlah *stack* yang diambil. Secara waktu umumnya pengukuran dilakukan selama 10 – 15 jam.

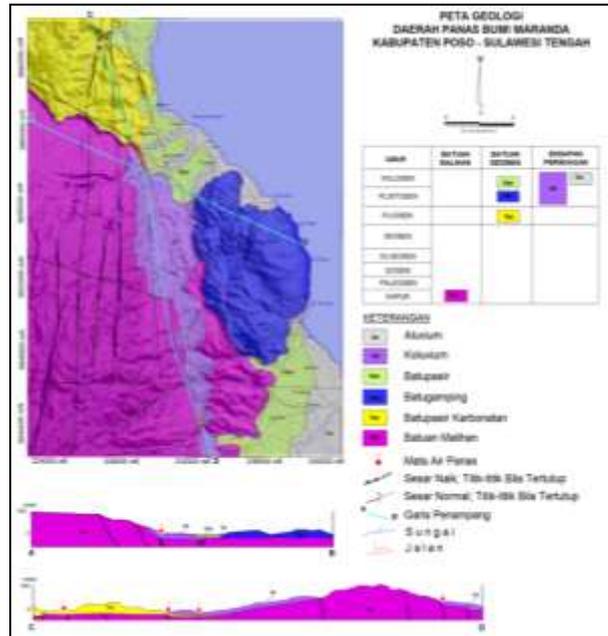
Pengukuran resistivitas dilakukan dengan 2 tahap, yaitu pengukuran AMT dan pengukuran MT. Pengukuran tahap pertama, yaitu pengukuran AMT dilakukan untuk memperoleh sinyal frekuensi tinggi (0.9-8000 Hz), dan dibutuhkan waktu sekitar 2 jam. Kemudian untuk pengukuran tahap kedua yaitu pengukuran MT dimaksudkan untuk memperoleh sinyal dengan frekuensi rendah (0.0056-8 Hz), dan membutuhkan waktu sekitar 14 jam pengukuran.

Pengolahan data magnetotellurik dimaksudkan untuk mengekstrak tensor impedansi dari medan EM hasil pengukuran yang berupa deret waktu (*time series*) medan listrik (E) dan medan magnet (H) menjadi deret frekuensi. Hasil yang diperoleh berupa data resistivitas semu dan fasa yang berbanding dengan frekuensi. Pengolahan data MT meliputi Rotasi tensor yang dilakukan untuk mendapat respon terbaik terhadap struktur, *Smoothing curve* untuk memperoleh kurva yang lebih *smooth* setelah melakukan rotasi tensor, *Static shift corection* dilakukakan karena seringnya kurva mengalami pergeseran (*shifting*) yang disebabkan adanya struktur lokal dangkal berupa konduktor/isolator dangkal dan topografi dari lokasi pengukuran, Pemodelan tahanan jenis 1D dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan jenis dan kedalaman pada titik pengukuran, Pemodelan tahanan jenis 2D merupakan inversi yang dilakukan setelah seluruh data kurva telah siap (Sugianto, 2014).

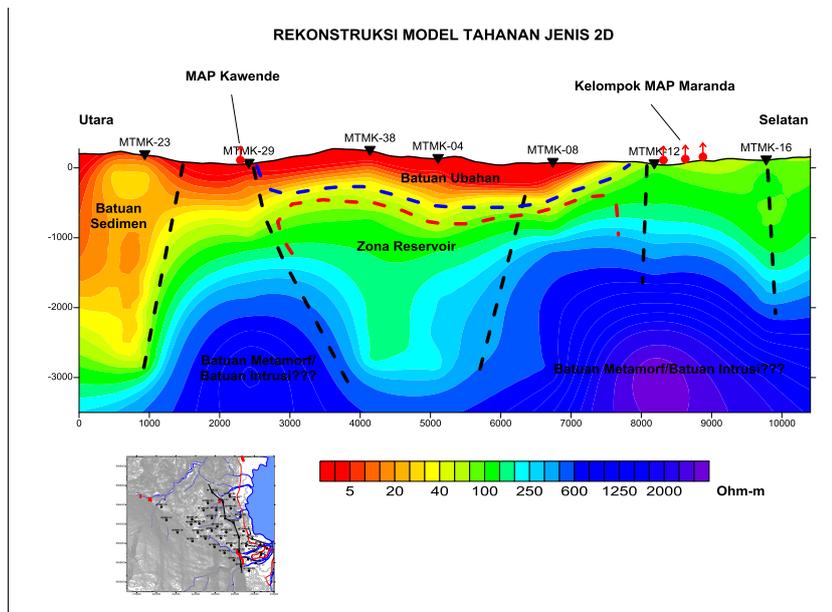
Hasil pemodelan kemudian dianalisis dan ditumpang-susunkan dengan hasil survei terpadu (Tim Survei terpadu geologi Maranda, 2011) membentuk peta kompilasi geosains sebagai dasar penentuan daerah prospek.

#### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pemodelan 2D ditampilkan dalam penampang model tahanan jenis per lintasan (Gambar 2) dan peta sebaran tahanan jenis per kedalaman (Gambar 3). Peta tahanan jenis merupakan hasil pemodelan tahanan jenis 2D yang disayat pada kedalaman yang sama.



**Gambar 2** Peta geologi daerah panas bumi Panti (modifikasi dari Hadi, dkk., 2016)



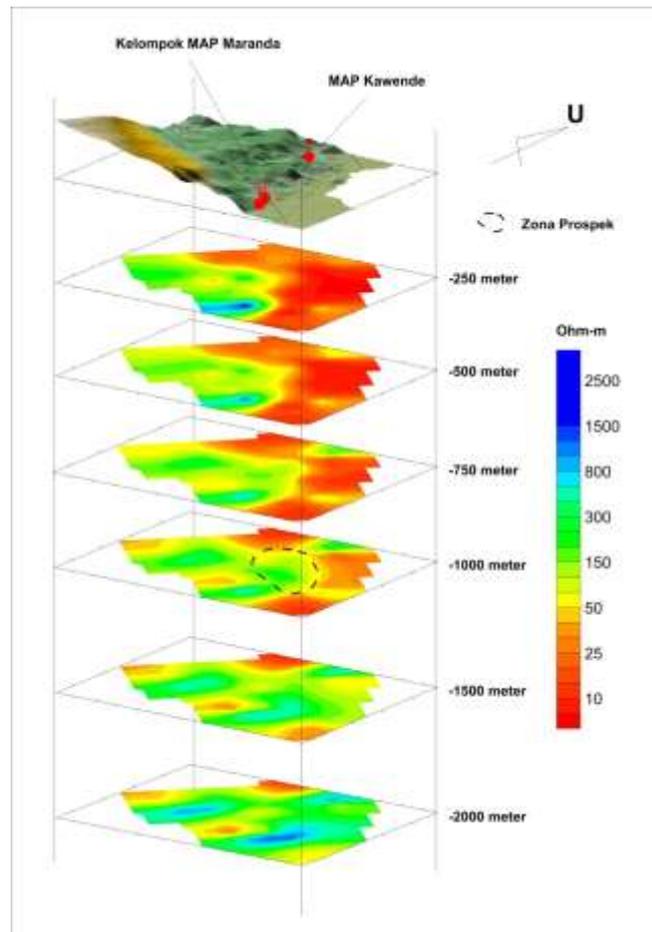
**Gambar 3** Penampang model tahanan jenis 2D

### Model Tahanan Jenis MT 2D

Hasil pemodelan lintasan 2 memperlihatkan adanya sebaran tahanan jenis rendah (<20 Ohm-m) di sekitar titik MTMK-17 dan MTMK 37 dari dekat permukaan hingga kedalaman 750 m (Gambar 4). Tahanan jenis rendah ini diinterpretasikan sebagai respon dari batuan ubahan yang berperan sebagai batuan penutup pada sistem panas bumi di daerah ini. Di bagian bawahnya terdapat sebaran tahanan jenis sedang (20-300 Ohm-m) yang diperkirakan merupakan zona reservoir, sedangkan di sisi timurlaut dan bagian

bawah dari penampang ini terlihat adanya sebaran tahanan jenis tinggi. Tahanan jenis tinggi ini diinterpretasikan sebagai respon dari batuan metamorf yang menjadi basemen di daerah ini.

Pada penampang model lintasan 2 ini juga terlihat adanya kontras nilai tahanan jenis dari rendah ke sedang/tinggi yang berada di antara titik MTMK-16 dan MTMK-17 dan di sekitar titik MTMK-34. Kontras nilai tahanan jenis ini diperkirakan sebagai indikasi adanya struktur yang membatasi sistem panas bumi di daerah ini.



**Gambar 4** Peta tahanan jenis MT per kedalaman

Hasil pemodelan tahanan jenis 2D pada lintasan 4 memperlihatkan adanya sebaran tahanan jenis rendah di sebelah timurlaut. Di bagiannya terdapat nilai tahanan jenis sedang dengan pola terus meninggi ke bagian bawah. Tahanan jenis rendah ini diinterpretasikan sebagai respon dari batuan ubahan, sedangkan tahanan jenis sedang yang berada di bagian bawahnya diperkirakan sebagai zona reservoir. Lintasan 6 berada di sebelah tenggara mata air panas Kawende. Lintasan ini memotong 6 buah titik pengukuran MT. Hasil pemodelan tahanan jenis 2D memperlihatkan pola yang cukup berbeda dengan beberapa lintasan sebelumnya. Di dekat permukaan tersebar nilai tahanan jenis rendah di sekitar titik MTMK-31 dan di sebelah timurlaut di sekitar titik MTMK-38, MTMK-35, dan MTMK-36. Selain itu, juga tersebar nilai tahanan jenis tinggi di sekitar titik MTMK-32. Tahanan jenis rendah yang berada di sebelah timurlaut diperkirakan sebagai respon dari batuan ubahan yang kemungkinan berperan sebagai batuan penudung.

#### **Peta Tahanan Jenis MT per Kedalaman**

Peta tahanan jenis kedalaman 250 m memperlihatkan kelurusan-kelurusan yang

berarah baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut yang ditandai dengan adanya kontras nilai tahanan jenis. Nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm-m) tersebar di sebelah timurlaut dengan pola membuka ke arah pantai yang secara geologi tersusun atas batuan sedimen. Di sebelah baratdaya tersebar nilai tahanan jenis tinggi (>300 Ohm-m) yang secara geologi bertepatan dengan sebaran batuan metamorf. Nilai tahanan jenis sedang (20-300 Ohm-m) tersebar diantara nilai tahanan jenis rendah dan tahanan jenis tinggi dengan pola kontur yang rapat membentuk gradasi nilai dari tahanan jenis tinggi ke rendah. Pola gradasi ini menunjukkan adanya perubahan struktur tahanan jenis yang secara geologi bertepatan dengan zona struktur/sesar, yaitu Sesar Maranda.

Sebaran tahanan jenis pada kedalaman 500 m memperlihatkan pola yang cenderung sama dengan pola sebaran tahanan jenis pada kedalaman 250 m. Pola sebaran tahanan jenis yang relatif sama ini menunjukkan bahwa antara kedalaman 250 m dan 500 m belum terlalu banyak perubahan struktur tahanan jenis. Sebaran tahanan jenis rendah (<20 Ohm-m) yang berada di sebelah timurlaut dengan pola

membuka ke arah pantai, masih berasosiasi dengan batuan sedimen. Namun nilai tahanan jenis yang berada di sekitar mata air panas dan zona kelurusan diinterpretasikan sebagai respon dari batuan ubahan. Nilai tahanan jenis tinggi yang tersebar di sebelah baratdaya diperkirakan masih berasosiasi dengan batuan metamorf. Secara umum pola sebaran tahanan jenis pada kedalaman 750 m mengalami sedikit perubahan jika dibandingkan dengan pola sebaran tahanan jenis pada kedalaman sebelumnya. Luas sebaran tahanan jenis rendah yang tersebar di sebelah timurlaut cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan sebaran tahanan jenis rendah pada kedalaman sebelumnya. Sedangkan sebaran nilai tahanan jenis sedang (20-300 Ohm-m) di bagian tengah cenderung lebih meluas. Nilai tahanan jenis ini diinterpretasikan sebagai zona transisi antara batuan ubahan yang berfungsi sebagai batuan penudung dengan batuan yang berfungsi sebagai reservoir. Secara umum peta tahanan jenis kedalaman 1000 m lebih didominasi oleh nilai tahanan jenis sedang-tinggi. Yang menarik pada sebaran tahanan jenis kedalaman ini adalah sebaran nilai tahanan jenis sedang di antara mata air panas Maranda dan mata air panas Kawende. Pola kontur tahanan jenis sedang ini cenderung membentuk pola kontur setengah tertutup di sebelah timurlaut dan sedikit membuka ke arah baratdaya. Nilai tahanan jenis sedang ini diinterpretasikan sebagai zona reservoir dari sistem panas bumi di daerah Maranda-Kawende ini.

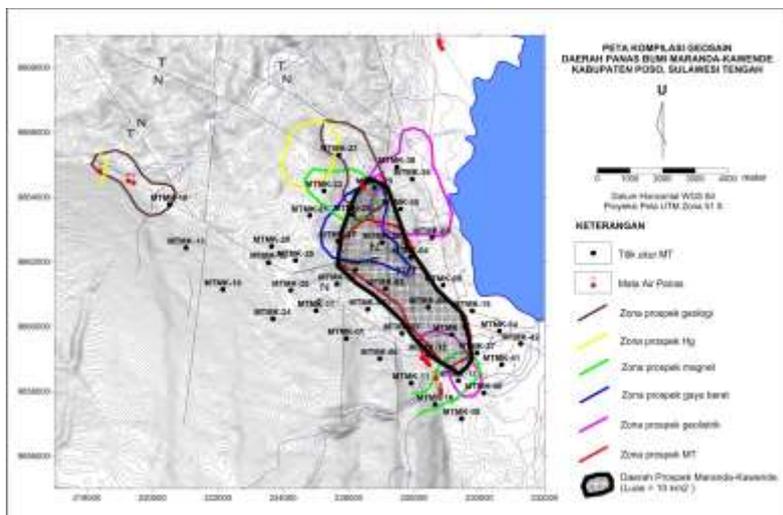
**Pembahasan dan Analisis**

Sebaran tahanan jenis secara lateral (elevasi yang sama) memperlihatkan pola kelurusan berarah barat-laut-tenggara, dimana nilai tahanan jenis rendah (<20 Ohm-m) tersebar

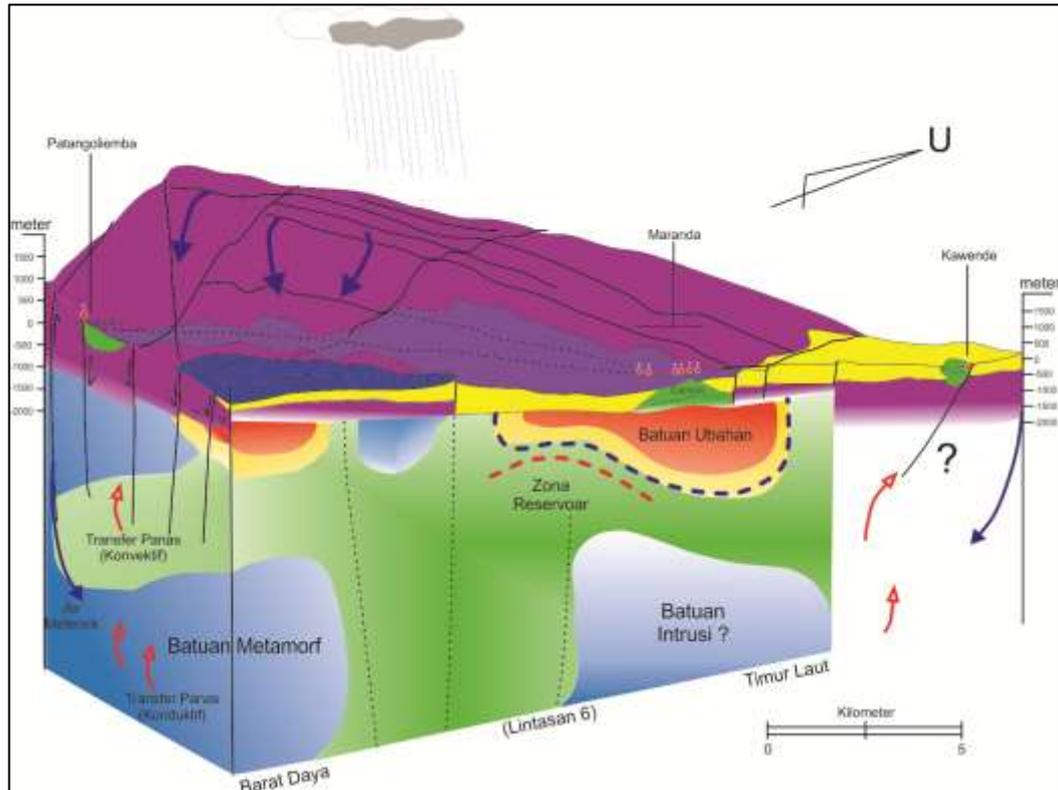
di sebelah timurlaut, sedangkan nilai tahanan jenis tinggi (>300 Ohm-m) tersebar di sebelah baratdaya. Kelurusan tersebut diinterpretasikan sebagai indikasi keberadaan struktur sesar. Struktur-struktur inilah yang diperkirakan menjadi pengontrol sistem panas bumi di daerah ini.

Di sebelah timurlaut terlihat adanya sebaran tahanan jenis rendah dari mulai elevasi -250 m hingga elevasi -1000 m. Luas penyebaran tahanan jenis rendah ini semakin ke bawah cenderung semakin mengecil. Nilai tahanan jenis rendah yang tersebar di sekitar kelurusan/sesar (antara mata air panas Maranda dan mata air panas Kawende) dan terdapat pada elevasi -250 m dan -500 m diinterpretasikan sebagai batuan ubahan yang berperan sebagai batuan penudung dari sistem panas bumi di daerah ini. Nilai tahanan jenis rendah ini cenderung menghilang pada elevasi -750 m dan berubah menjadi nilai tahanan jenis sedang (20-300 Ohm-m). Zona ini diperkirakan sebagai awal dari zona reservoir (puncak reservoir). Pada elevasi -1000 m, nilai tahanan jenis sedang ini cenderung lebih meluas dan diinterpretasikan sebagai zona reservoir. Di bagian bawahnya lagi yaitu elevasi -1500 m dan -2000 m, terlihat adanya sebaran tahanan jenis tinggi dengan pola kontur cenderung menutup. Nilai tahanan jenis ini diinterpretasikan sebagai respon dari batuan intrusi? yang menjadi indikasi adanya sumber panas di bagian bawah.

Di sebelah baratdaya juga tersebar nilai tahanan jenis tinggi dari mulai elevasi -250 m hingga elevasi -2000 m dengan pola semakin ke bawah cenderung semakin meluas. Tahanan jenis tinggi pada zona ini berasosiasi dengan batuan metamorf yang tersingkap di permukaan dan menjadi basemen daerah ini.



**Gambar 5** Peta kompilasi geosains daerah panas bumi Pantai



**Gambar 6** Rekonstruksi model tahanan jenis 3D.

### KESIMPULAN

Peta tahanan jenis (MT) memperlihatkan adanya pola kelurusan berarah barat-laut-tenggara dengan sebaran tahanan jenis tinggi di sebelah baratdaya dan sebaran tahanan jenis rendah di sebelah timurlaut. Batuan penutup yang dicirikan dengan nilai tahanan jenis rendah berada di sebelah timurlaut di antara mata air panas Maranda dan mata air panas Kawende dengan pola yang membuka ke arah timurlaut. Batuan penutup ini diperkirakan berada di dekat permukaan hingga kedalaman 750 meter dengan ketebalan 500-750 meter.

Reservoir panas bumi dicirikan dengan nilai tahanan jenis sedang yang berada di bagian bawah batuan penutup. Puncak dari reservoir diperkirakan berada di kedalaman 750-1000 meter dengan ketebalan 1000 meter.

Daerah prospek panas bumi Maranda-Kawende berada di antara mata air panas Maranda dan mata air panas Kawende dengan luas sekitar 10 km<sup>2</sup>.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh rekan kerja di Bidang Panas Bumi yang telah bersedia berdiskusi dengan penulis. Penulis juga memberikan apresiasi yang setinggi-

tingginya kepada seluruh anggota Tim Survei MT di daerah panas bumi Maranda.

### DAFTAR PUSTAKA

- Geothermal Department, *Basic Concept of Magnetotellurik Survey in Geothermal Fields.*, West Japan Engineering Consultants, Inc.
- Hermawan, D , Asep S dan Anna Y. 2011. *Kajian Panas Bumi Non-Vulkanik Daerah Sulawesi Bagian Tenggara.* Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Hochstein, Manfred P., Sudarman S., *History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000,* Geothermics.
- Leibowitz, L. P. 1978. *California's Geothermal Resource Potential.* California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., United States
- Lund, J, W and Lienau, P.J. 2002. *Geothermal Energy Resources for Developing Country,* Knapp Chandrasekharam D. and Bundschuh (eds). *Agri-bussiness Uses of Geothermal Energy,* ISBN 90 5809 522 3, A.A. Balkema Publisher, Tokyo, 413 pp.
- Mardiana, Undang. 2007. *Manifestasi Panas Bumi Papandayan Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis Batuan.* Studi Kasus. Jurusan Geologi. Fakultas MIPA. Universitas Padjadjaran.

- Saptadji, N.M., 2001. Basic Geothermal Engineering. Departemen Teknik Perminyakan ITB. Bandung.
- Simanjuntak, T.O, Surono, dan J.B. Supandjono, 1997. Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung, Indonesia.
- Simpson, F., dan Bahr, K., 2005, Practical Magnetotellurics, Cambridge University Press.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E., Keys, D. A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, London.
- Tim Survei Terpadu. 2011. Laporan Survei Panas Bumi Terpadu Daerah Panas Bumi Maranda, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (*Unpubl. Report*).
- Tim Survei Terpadu. 2012. Laporan Survei Panas Bumi Terpadu Daerah Panas Bumi Kawende, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (*Unpubl. Report*).
- Ushijima, K., Tagomori, K, and Pelton, W. H., 2000, 2D inversion of VES and MT data in a geothermal area, Proceeding WGC 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 1909-1914.
- Villeneuve, Michel, *et al.* 2001. *Geology of The Central Sulawesi Belt (Eastern Indonesia): Constrains of Geodynamic Models*. International Journal Earth Science. Springer-Verlag.
- Zonge Engineering and Research Organization, 2009, GDP-32<sup>II</sup> Multifunction Receiver Operation manual.