SURVEI MAGNETOTELURIK DAN TDEM DAERAH PANAS BUMI SAJAU, KABUPATEN BULUNGAN, PROVINSI KALIMANTAN UTARA

Oleh :

Ahmad Zarkasyi, Tanti Indriani, Arief Munandar

Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

ABSTRAK

Prospek panas bumi Sajau diindikasikan dengan mata air panas bertemperatur 57–85^o C yang muncul pada batuan sedimen Tersier. Pada tahun 2016 survei magnetotelurik (MT) sebanyak 31 titik dilakukan untuk mengetahui keprospekan panas bumi Sajau. Metode MT dipilih karena metode ini telah menjadi metode andalan dalam eksplorasi panas bumi karena banyak tujuan eksplorasi panas bumi dapat dicapai dengan metode ini. Informasi bawah permukaan yang berkaitan dengan sistem panas bumi seperti lapisan penudung, kedalaman reservoir dapat diinterpretasi secara langsung dari hasil magnetotelurik.

Data *time-series* MT yang diperoleh diproses menggunakan perangkat lunak standar industri (SSMT 2000). Data hasil pengolahan dan pengeditan dimodelkan menggunakan teknik inversi 2D, ditampilkan secara vertical dan horizontal. Hasil interpretasi mengindikasikan adanya lapisan batuan reservoir bertahanan jenis 20-50 Ohmm pada kedalaman 800-900 meter dengan ketebalan sekitar 250-350 meter. Lapisan penudung diduga berupa batuan bertahanan jenis rendah <10 Ohmm yang dimensinya sukar ditentukan karena ambiguitas nilai tahanan jenis dengan nilai batuan sekitar. Area prospek panas bumi di Sajau diperkirakan sekitar 4 km² dengan potensi sebesar 5 MWe.

Kata kunci : magnetotelurik, panas bumi, Sajau, Kalimantan Utara

PENDAHULUAN

Daerah Sajau berada di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara (Gambar 1). Indikasi keprospekan panas bumi ditandai dengan keberadaan mata air panas bertemperatur 58,°C–85°C (Hadi dan Wibowo, 2015). Keprospekan panas bumi Sajau menjadi menarik karena muncul di Pulau Kalimantan yang berdasarkan tatanan geologinya berupa batuan sedimen berumur Tersier dan ketiadaan informasi gunung api atau batuan intrusi yang umumnya berperan sebagai sumber panas.

Sistem panas bumi adalah perpindahan panas alami dari kerak bumi dalam satuan volume (Hochstein &

Browne, 2000). Sistem panas bumi dapat ditemukan di daerah dengan gradien suhu normal atau lebih tinggi, seperti batas antara pelat, dimana gradien panas bumi bisa lebih tinggi dari nilai rata-rata (Dickson & Fanelli, 2004). Ada tiga unsur utama dalam sistem panas bumi, yaitu batuan reservoir permeabel, air untuk membawa panas dari reservoir ke permukaan bumi, dan sumber panas (Goff & Janik, 2000). Informasi bawah permukaan sangat diperlukan untuk menginterpretasi komponen panas bumi. Informasi ini dapat diperoleh dengan menggunakan metode geofisika.

Metode magnetotelurik merupakan metode geofisika yang efektif dalam

eksplorasi panas bumi. Metode ini adalah metode geofisika elektromagnetik pasif dengan memanfaatkan variasi medan magnet bumi sebagai sumbernya. Variasi medan magnet bumi ini disebabkan karena beberapa faktor seperti solar wind dan lightning. Variasi medan magnet bumi ini dapat menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi yang sangat lebar yaitu antara 10^{-5} - 10^4 Hz (Daud, 2013).

Tahanan jenis batuan bawah permukaan diperoleh dengan melakukan pengolahan data MT. Hasil proses data MT dimodelkan dan berdasarkan model tahanan jenis tersebut dilakukan deliniasi sistem panas bumi.

Pemodelan dapat menggunakan inversi 1D, 2D dan 3D. paper ini pemodelan menggunakan 1D dan 2D. Pemodelan inversi 1D dapat memberikan gambaran kasar mengenai penyebaran resistivitas bawah permukaan namun dengan batasan tepi yang masih belum akurat dan sempurna (Cumming and Mackie, 2010). Inversi 1D dapat diterapkan dengan asumsi bahwa bumi adalah homogen lateral sehingga nilai resistivitas bawah permukaan hanya bervariasi dalam orientasi vertikal (Heditama, 2012).

Pemodelan dengan menggunakan inversi 2D akan memberikan pemetaan resistivitas bawah permukaan yang lebih baik tetapi memerlukan ketelitian yang cukup tinggi (Suharmanto, 2015). Dalam

pengolahan inversi 2D berpeluang besar terhadap efek statik di dalam data dan sangat memerlukan kejelasan arah strike (Cumming and Mackie, 2010). Inversi 2D mengasumsikan bahwa bumi bervariasi satu orientasi lateral dan kedalaman, sementara orientasi lain dianggap homogen (Heditama dkk, 2012).

Pada paper ini penulis mencoba mendeliniasikan tahanan jenis batuan yang berkorelasi dengan sistem panas bumi. Proses ini dengan mengasumsikan bahwa batuan bertahanan jenis rendah berasosiasi batuan teralterasi akibat fluida panas. Lapisan tersebut berhubungan dengan zona lapisan penudung.

TATANAN GEOLOGI DAN GEOKIMIA

Daerah Sajau berada pada bagian barat dari cekungan Tarakan, yang didominasi oleh batuan sedimen (Hadi dan Wibowo, 2015). Batuan tertua adalah serpih karbonatan yang terbentuk pada Kala Eosen dan menyebar secara menjemari dengan terbentuknya satuan batugamping dan batupasir karbonat. Satuan ini diduga merupakan basemen yang berada di bagian barat.

Setelah itu pada Kala Oligosen hingga Miosen terjadi pengangkatan sehingga batuan karbonat terangkat dan mulai terbentuk batubara pada lingkungan deltaik. Proses ini didahului pembentukan konglomerat pasiran dengan komposisi kuarsa dan serpih dan dilanjutkan pembentukan endapan batubara dengan lapisan yang cukup tebal di bagian tengah

dan berangsur ke timurlaut sesuai arah kelurusannya. Struktur sesar yang dominan di daerah ini adalah sesar berarah baratlaut–tenggara

Sistem panas bumi Sajau sendiri berada di lingkungan non vulkanik pada tepian cekungan Tarakan bagian barat. Morfologi di daerah ini dapat di kelompokkan menjadi perbukitan karst curam, perbukitan bergelombang kuat, perbukitan bergelombang lemah dan pedataran. Batuan yang menyusun daerah ini berdasarkan urutan stratigrafi batuan dibagi menjadi satuan batuan serpih (karbonat), satuan batugamping, satuan batupasir (karbonat), Satuan serpih (rijang), satuan konglomerat, satuan batupasir karbon–batubara, satuan serpih (non karbonat), dan endapan aluvium (Gambar 2).

Pola utama sesar di Sajau berarah barat laut–tenggara (NW–SE) berupa sesar normal dengan bagian *footwall* pada lereng barat membentuk sedimentasi pada satuan serpih, batugamping, dan batupasir karbonat. Terdapat sesar yang berarah hampir utara–selatan yang kemungkinan adalah sesar antitetiknya atau sesar pasangannya. Sesar normal Gunungsari yang berarah baratlaut–tenggara diduga memfasilitasi munculnya air panas di daerah Sungai Apan atau dikenal sebagai air panas Sajau dan juga memfasilitasi naiknya fluida panas untuk mengubah batuan yang terlewatnya.

Data manifestasi air panas di daerah

Sajau memiliki temperatur 58 – 85 °C. Air panas termasuk dalam tipe klorida, berada pada zona *mature water* dan masuk di zona *partial equilibrium*. Data ini menunjukkan fluida berasal dari kedalaman dan sedikit terpengaruh oleh air permukaan dengan perkiraan temperatur reservoir maksimum 190°C (Hadi dan Wibowo, 2015).

AKUISISI DAN PENGOLAHAN DATA

Jumlah titik MT dan TDEM sebanyak 31 titik telah diambil pada tahun 2016 dengan jarak antar titik sekitar 300-500 meter. Sebaran melingkupi pemunculan manifestasi panas bumi dan juga area yang diduga sebagai area prospek sistem panasbumi berdasarkan analisis survei AMT tahun 2015 (Zarkasyi, 2015). Gambar 3 memperlihatkan sebaran titik pengukuran MT yang telah dilakukan dan lintasan penarikan penampang model.

Pemodelan tahanan jenis menggunakan teknik inversi dua dimensi (2D). Proses dilakukan pada data MT yang telah dilakukan analisis, rotasi, dan *editing*. Hasil pemodelan berupa penampang tahanan jenis pada 5 lintasan yang selanjutnya nilai tahanan jenis tersebut dapat dicuplik pada posisi kedalaman atau elevasi tertentu. Koreksi statis dilakukan dengan menggunakan metode rata-rata statistik (Sulistyo, A. 2011 dan Vozoff, K., 1991)

HASIL DAN INTERPRETASI

Penampang tahanan jenis

Model tahanan jenis batuan hasil

inversi 2D ditampilkan pada Gambar 4. Secara umum terdapat 3 struktur lapisan tahanan jenis batuan berdasarkan pemodelan tersebut. Lapisan pertama dengan nilai tahanan jenis <10 Ohmm. Lapisan kedua dengan nilai tahanan jenis batuan 15-40 Ohm dan lapisan ke tiga adalah batuan bertahanan jenis tinggi 50-150 Ohmm.

Lapisan batuan bertahanan jenis <10 Ohmm termodelkan di sisi timurlaut pada Lintasan 1 dan 2. Sedangkan pada lintasan 3, 4 dan 5 lapisan batuan termodelkan mulai area bagian tengah sampai timurlaut. Tahanan jenis batuan rendah di sisi timurlaut kemungkinan besar respon batuan sedimen berupa batu pasir, serpih dan konglomerat. Sedangkan tahanan jenis rendah <10 Ohmm pada lintasan 3, 4 dan 5 kemungkinan campuran antara respon batuan batu pasir, serpih dan konglomerat dengan respon batuan teralterasi fluida panas. Hal ini dikarenakan pada area tersebut muncul manifestasi air panas.

Nilai tahanan jenis yang dominan muncul adalah tahanan jenis bernilai sekitar 15-50 Ohmm. Kelompok tahanan jenis ini mengisi permukaan sampai kedalaman sekitar 750-1000 meter. Berdasarkan geologi permukaan, kemungkinan lapisan batuan ini berupa batuan serpih (karbonat) dan batu gamping atau dapat pula batuan dengan komposisi sama dengan permukaan tetapi pada kedalaman kondisinya lebih kompak

dan masif.

Struktur batuan dengan nilai yang kontras terlihat pada kedalaman di bawah 1000 meter. Pada lintasan 1 dan 2, struktur tahanan jenis tinggi >50 Ohmm ini berpola memanjang. Sedangkan pada lintasan 3,4 dan 5 struktur tahanan jenis ini berpola seperti kubah. Pola struktur ini kemungkinan besar karena pada kedalaman kondisi batuan mulai homogen dan masif. Pola tersebut, terutama di sekitar mata air panas, dapat pula mencirikan adanya tubuh batuan yang lebih muda.

1) Sebaran Tahanan Jenis

Kompilasi sebaran model tahanan jenis menunjukkan tren perubahan nilai perkedalaman (Gambar 5). Tahanan jenis rendah di area panas bumi sering dikorelasikan dengan batuan teralterasi fluida panas Daerah Sajau didominasi oleh batuan yang memiliki sifat bertahanan jenis rendah seperti batu pasir, serpih dan konglomerat. Hal ini akan menyulitkan dalam interpretasi antara tahanan jenis rendah akibat alterasi atau campuran batuan teralterasi dan nilai asli tahanan jenisnya.

Di kedalaman 250 dan 500 meter distribusi tahanan jenis terpolakan di sisi barat (15-30 Ohmm) dan sisi timur (<10 Ohmm) dengan liniasi di bagian tengah sebagai zona transisi. Liniasi ini sebagai ciri sesar baratlaut-tenggara dan diduga sesar pengontrol munculnya mata air panas. Sisi timur kemungkinan respon

batuan yang lebih muda (konglomerat dan alluvium) dan sisi barat diduga respon batuan serpih dan batu gamping.

Pola tersebut menerus ke kedalaman (750 dan 1000 meter) dengan nilai tahanan jenis yang lebih tinggi. Peningkatan nilai ini diduga karena batuan lebih kompak dan masif. Pola sebaran tahanan jenis di kedalaman 1000 meter ke bawah sudah tidak mengalami perubahan drastis. Diperkirakan mulai kedalaman tersebut, struktur batuan sudah masif dan homogen.

Nilai tahanan jenis di sekitar mata air panas terlihat bernilai relatif lebih rendah dari sekitarnya yang konsisten tiap kedalaman. Nilai rendah ini (<10 Ohmm) diperkirakan berkorelasi dengan batuan ubahan akibat fluida panas. Sedangkan tahanan jenis rendah di luar area itu atau berjarak jauh dari mata air panas merupakan respon batuan sedimen. Diperkirakan area batuan teralterasi fluida panas kemungkinan hanya di sekitar area mata air panas.

Di timurlaut dari mata air panas terdapat kontras tahanan jenis tinggi (>75 Ohmm). Pola ini mulai muncul pada kedalaman 500 meter dengan pola kontur yang menutup dan konsisten menerus ke kedalaman. Pada kedalaman lebih dari 1250 meter, area ini memiliki nilai tahanan jenis >150 Ohmm dengan pola kontur menutup dan nilai tahanan jenis yang sangat kontras. Pola tersebut terlihat seperti tubuh batuan yang mengintrusi

lingkungan batuan sekitarnya. Jika memang ini suatu tubuh batuan intrusi, maka sangat mungkin berperan sebagai sumber panas sistem.

Sistem dan Deliniasi Panas Bumi

Gambar 6 memperlihatkan kompilasi data geologi - gaya berat dan model MT. Anomali gaya berat menunjukkan keberadaan anomali tinggi di sekitar area mata air panas (Zarkasyi, 2015). Anomali ini diperkuat dari hasil pemodelan tahanan jenis MT 2D yang memodelkan adanya kontras tahanan jenis (>125 Ohmm) di sekitar area dan di bawah mata air panas. Kontras densitas dan tahanan jenis ini jika diinterpretasikan sebagai indikasi adanya aktivitas plutonisme maka di area itu diperkirakan aktivitas panas buminya.

Aktivitas plutonisme ini memperkuat analisis geologi yang memperkirakan adanya aktivitas tersenut di daerah Sajau yang belum muncul ke permukaan. Aktivitas tersebut memanasi fluida yang terakumulasi di wadah reservoir (Hadi dan Wibowo, 2015). Hasil MT memperkirakan tubuh batuan berada di bawah kedalaman 1250-1500 meter.

Terdapat lapisan batuan bertahanan jenis 20-50 Ohmm dengan posisi di atas struktur tahanan jenis tinggi. Lapisan diperkirakan sebagai lapisan reservoir. Lapisan ini mulai terindikasi pada kedalaman sekitar 800-900 Ohmm dengan ketebalan sekitar 250-350 meter. Lapisan penudung diduga berupa batuan berjenis lempung maupun serpih yang

diindikasikan dengan nilai tahanan jenis rendah <10 Ohmm. Lapisan penudung sukar ditentukan dimensinya karena batuan sekitarnya yang juga bernilai rendah.

Area yang memiliki prospek panas bumi diperkirakan terdapat di bagian tengah lokasi survei (Gambar 7) di sekitar air panas Sajau. Area prospek ini didukung oleh hasil kompilasi geologi struktur, anomali tahanan jenis tinggi sebagai indikasi reservoir dan dugaan batuan intrusi. Hasil kompilasi metode tersebut didapat luas area prospek panas bumi Sajau sekitar 4 km² untuk kelas cadangan terduga.

Estimas potensi panas bumi dengan menggunakan metode volumetrik (*Lump Parameter*) dan mengacu ke SNI 13-6171-1999 di Sajau dengan asumsi tebal reservoir 350 m, *recovery factor* sebesar 25%, faktor konversi 10%, dan *lifetime selama* 30 tahun. maka potensi daerah Sajau sebesar 5 MWe

KESIMPULAN

Daerah prospek panas bumi Sajau berada di sekitar lokasi munculnya mata air panas. Sistem panas bumi yang terbentuk diperkirakan karena adanya sisa panas dari batuan plutonik yang diindikasikan dengan tahanan jenis tinggi >125 Ohmm pada kedalaman di bawah 1250-1500 meter.

Lapisan reservoir memiliki tahanan jenis 20-50 Ohmm yang terdeteksi mulai kedalaman 800-900 meter dengan

ketebalan sekitar 350 meter. Lapisan penudung berupa batuan bertahanan jenis rendah <10 Ohmm yang dimensinya sukar ditentukan karena ambiguitas nilainya dengan batuan sekitar.

Sesar berarah baratdaya-timurlaut teridikasi dari liniasi kontur tahanan jenis di bagian tengah dan diduga sebagai struktur geologi yang mengkontruksi manifestasi air panas muncul ke permukaan. Luas area prospek panas bumi Sajau sekitar 4 km² dengan potensi sebesar 5 Mwe.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim penulis hantarkan kepada para staf Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas bumi bidang panas bumi yang telah berperan serta dalam penulisan ini. Kegiatan diskusi terutama tentang informasi geologi dan geokmia daerah Sajau.

DAFTAR PUSTAKA

- Cumming, & Mackie, R., 2010. *Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D and 3D MT Inversion and TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History*, Proceeding World Geothermal Congress, 2010.
- Daud, Yunus. 2010, *Diktat kuliah: Metode Magnetotelluric (MT)*, Laboratorium Geofisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Dickson, M.H., Fanelli, M., 2004. *What is Geothermal Energy*. Pisa: Instituto di Geoscienze e Georisorse.

- Gang Yu, 2008, *Exploring for geothermal reservoirs using broadband 2-D MT and gravity survey in Hungary*, 19th IAGA WG 1.2 Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth Beijing, China, October 23-29, 2008.
- Goff, Janik, C.J., 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press.
- Hadi, M.N, Wibowo, A.E.A., 2015, *Laporan Penyelidikan Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Sajau, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung (tidak dipublikasikan).
- Hochstein, Browne, P.R., 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press.
- Heditama, 2012, *3-D Inversion of MT Data Using MT3Dinv-X Software*, Proceeding The 12th Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Conference, Bandung.
- Suharmanto, Puji, Fahmi F, Daud Y, Zarkasyi A, Sugianto A, Suhanto E, 2015, *Delineation of Geothermal System at Prospect Area 'P' by Using Multi-Dimensional Modeling of Magnetotelluric Data Integrated Geological and Geochemistry Data*, Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition.
- Zarkasyi, Ahmad, 2015, *Laporan Survei AMT dan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Sajau, Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara*, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung (tidak dipublikasikan).
- Vozoff, K., 1991, The Magnetotelluric Method, Chapter 8, Electromagnetic method in applied geophysics-Applications part A and part B, edit by Corbett, J.D., published by Society of Exploration Geophysicists, p.641-711.

Gambar 1. Peta lokasi survei MT dan TDEM daerah panas bumi Sajau

Gambar 2. Peta geologi Sajau (dimodifikasi dari peta geologi Nurhadi, dkk, PSDG, 2015)

Gambar 3. Sebaran titik ukur dan lintasan pemodelan

Gambar 4. Penampang model 2D

Gambar 5. Sebaran tahanan jenis per kedalaman

Gambar 6. Kompilasi peta gaya berat – geologi dan model MT

Gambar 7. Deliniasi prospek panas bumi