

IDENTIFIKASI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH PROSPEK PANAS BUMI SONGA-WAYAU BERDASARKAN METODE MAGNETOTELURIK

IDENTIFICATION OF THE SUBSURFACE LAYERS OF THE SONGA-WAYAU GEOTHERMAL PROSPECT AREA BASED ON THE MAGNETOTELLURIC METHOD

Rikaldo Pratama¹, Ichy Lucy Resti², Faizar Farid³, Wiwid Joni⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi, Jambi, 36361

³Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Jambi, Jambi, 36361

⁴Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Jl. Soekarno Hatta No.444, Bandung, Jawa Barat, 40254

*E-mail: rikaldo.pratama07@gmail.com

Naskah masuk: 29 Juli 2021

Naskah diperbaiki: 14 September 2021

Naskah diterima: 17 September 2021

ABSTRAK

Manifestasi panas bumi yang terdapat di daerah Songa, Halmahera Selatan, Maluku Utara, berupa sumber mata air panas, fumarol dengan hembusan asap, kolam-kolam lumpur tanah panas dan alterasi. Berdasarkan data Geolistrik yang telah dilakukan, reservoir daerah prospek panas bumi Songa-Wayau diduga berada pada kedalaman >400 m. Distribusi nilai resistivitas rendah <30 Ω m mengindikasikan terdapatnya *clay cap* sebagai lapisan impermeabel. Distribusi resistivitas sedang 50-100 Ω m diindikasikan terdapatnya reservoir sebagai tempat terakumulasinya fluida, sedangkan resistivitas tinggi >1000 Ω m dicirikan terdapatnya *heat source* sebagai sumber panas. Daerah panas bumi Songa-Wayau telah dilakukan pengukuran metode survei pendahuluan yaitu metode geolistrik, metode gaya berat, dan metode magnetik, sedangkan metode magnetotelurik masih belum ada. Metode Magnetotelurik (MT) merupakan metoda eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami bumi seperti *solar wind* (< 1 Hz) dan petir (> 1 Hz). Data yang didapatkan dari perekaman data MT berupa data *time series*, dimana data tersebut kemudian diubah menjadi kurva resistivitas MT dan melalui beberapa tahap pemrosesan yang meliputi *fourier transform*, seleksi *cross power* serta *masking* dan *smoothing* data sehingga didapatkan model bawah permukaan. Dari 7 titik pengukuran diperoleh sebaran nilai resistivitas berkisar antara 1 – 4500 Ω m dimana batuan penutup dengan nilai resistivitas <30 Ω m dan ketebalan 500 m. Reservoir dengan nilai resistivitas 50-600 Ω m dan ketebalan 1000 m, sedangkan *heat source* berada pada kedalaman 1500 m dengan nilai resistivitas 1000-4500 Ω m. Terdapat dua sesar sebagai pengontrol munculnya mata air panas, yaitu Sesar Pele-pele dan Sesar Lapan.

Kata kunci: magnetotelurik, panas bumi, resistivitas, Songa-Wayau

ABSTRACT

Geothermal manifestations in the Songa area, South Halmahera, North Maluku, in the form of hot springs, fumaroles with smoke blowing, hot mud pools and alteration. Based on the Geoelectrical data that has been carried out, the reservoir of the Songa-Wayau geothermal prospect area is thought to be at a depth of > 400 m. The distribution of low resistivity values <30 m indicates the presence of clay cap as an impermeable layer. The medium resistivity distribution of 50-100 m indicates the presence of a reservoir as a place for fluid accumulation, while high resistivity >1000 m is characterized by the presence of a heat source as a heat source. The Songa-Wayau geothermal area has been measured by preliminary survey methods, namely the geoelectric method, gravity method, and magnetic method, while the magnetotelluric method is still not available. The Magnetotelluric (MT) method is a geophysical exploration method that utilizes the earth's natural electromagnetic fields such as solar wind (< 1 Hz) and lightning (> 1 Hz). The data obtained from MT data recording is in the form of time series data, where the data is then converted into an MT resistivity curve and goes through several processing stages which include fourier transform, cross power selection as well as masking and smoothing data to obtain a subsurface model. From 7 measurement points obtained the distribution of resistivity values ranging from 1 – 4500 m where the cap rock with a resistivity value <30 m and a thickness of 500 m. The reservoir has a resistivity value of 50-600 m and a thickness of 1000 m, while the heat source is located at a depth of 1500 m with a resistivity value of 1000-4500 m. There are two faults that control the emergence of hot springs, namely the Pele-pele Fault and the Lapan Fault.

Keywords: magnetotelluric, geothermal, resistivity, Songa-Wayau.

1. Pendahuluan

Manifestasi panas bumi yang terdapat di daerah Songa, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara, berupa sumber mata air panas, fumarol dengan hembusan asap, kolam-kolam lumpur tanah panas dan alterasi yang muncul di beberapa lokasi manifestasi yang tersebar di sepanjang dataran pantai dari daerah Songa sampai Tawa sekitar lereng Gunung Lansa [1].

Metode yang telah digunakan untuk kegiatan eksplorasi panas bumi di daerah panas bumi Songa-Wayaua yaitu metode geolistrik, gaya berat dan magnetik yang dilakukan oleh Bakrun et al [1], sedangkan informasi terkait metode survei lanjut atau metode magnetotelurik masih belum ada. Oleh karena itu, sangat perlu dilakukan survei magnetotelurik di daerah panas bumi Songa-Wayaua tersebut.

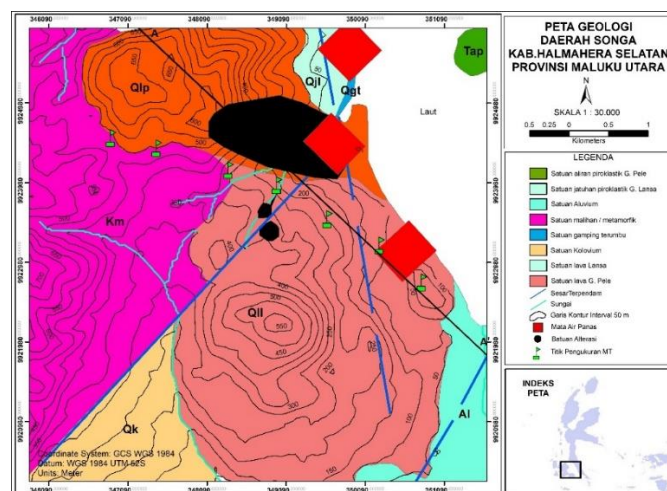
Metode magnetotelurik (MT) merupakan metode eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami bumi [15]. Pada frekuensi yang rendah (< 1 Hz), *solar wind* yang mengandung partikel-partikel bermuatan listrik berinteraksi dengan medan magnet permanen pada bumi sehingga menyebabkan terjadinya variasi medan Elektromagnetik (EM) [16]. Jangkauan frekuensi audio (*audio frequency band*, di atas 1 Hz) yang bervariasi disebabkan oleh aktivitas meteorologis berupa petir [12].

Apabila terdapat benda konduktor di bawah permukaan bumi, medan magnetik primer ini akan menghasilkan arus listrik akibat adanya induksi arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan dinamakan arus *Eddy*. Arus *Eddy* akan menimbulkan medan magnetik

sekunder dan terjadilah medan elektromagnetik sekunder. Medan listrik (E) dan medan magnetik (B) sekunder inilah yang diukur di Receiver yang ada di permukaan [12]. Metode magnetotelurik digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Pada eksplorasi panas bumi, MT dapat mengidentifikasi sistem panas bumi seperti *caprock*, reservoir dan sumber panas (*heat source*) [13].

Sistem panas bumi secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi akan memindahkan panas dari sumber panas ke zona pelepasan panas [5]. Panas bumi adalah energi panas yang terbentuk secara alami dan tersimpan dalam bentuk air panas atau uap panas pada kondisi geologi tertentu dan pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi [10]. Secara garis besar sistem panasbumi dikontrol dengan adanya sumber panas (*heat source*), batuan reservoir, lapisan penutup, keberadaan struktur geologi dan daerah resapan air [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas di daerah prospek panas bumi Songa-Wayaua berdasarkan data magnetotelurik dan mengetahui lapisan bawah permukaan daerah prospek panas bumi Songa-Wayaua. Struktur daerah penelitian dicerminkan dengan kelurusan (*lineament*) gunungapi, kerucut gunungapi, danau kawah (*crater*), kelurusan topografi, paset segitiga, gawir sesar, kekar (*joint*), *off-set* batuan, breksiasi, cermin sesar (*slickenside*), endapan kolovium, manifestasi panas dan alterasi. Berdasarkan cerminan tersebut, struktur geologi daerah berupa kelurusan kerucut Gunung Bibinoi, Gunung Lansa, Gunung Pele, 4 kawah di Gunung Lansa, 2 struktur sesar Timur Laut-BaratDaya, 1 sesar Utara Barat Laut-Selatan Tenggara dan 1 sesar normal arah Utara TimurLaut-Selatan Barat Daya [1].



Gambar 1. Peta Geologi Songa-Wayaua, Kab. Hal SeL, Provinsi Maluku Utara (Dimodifikasi dari Bakrun et al, 2006)

Tabel 1. Nilai Resistivitas Batuan [11]

<i>Rocks type</i>	<i>Resistivity range</i>	<i>Rocks type</i>	<i>Resistivity range</i>
<i>Granite porphyry</i>	4.5×10^3 (wet) – 1.3×10^6 (dry)	<i>Gneiss (various)</i>	6.8×10^4 (wet) – 3×10^6 (dry)
<i>Feldspar porphyry</i>	4×10^3 (wet)	<i>Marble</i>	10^2 – 2.5×10^8 (dry)
<i>Syenite</i>	10^2 – 10^6	<i>Skarn</i>	2.5×10^2 (wet) – 2.5×10^8 (dry)
<i>Diorite porphyry</i>	1.9×10^3 (wet) – 2.8×10^4 (dry)	<i>Quartzites (various)</i>	10 – 2×10^8
<i>Porphyryte</i>	10.5×10^4 (wet) – 3.3×10^5 (dry)	<i>Consolidated shales</i>	20 – 2×10^3
<i>Carbonatized porphyry</i>	2.5×10^3 (wet) – 6×10^4 (dry)	<i>Argillites</i>	10 – 8×10^2
<i>Quartz diorite</i>	2×10^4 – 2×10^6 (wet) – 1.8×10^5 (dry)	<i>Conglomerates</i>	2×10^3 – 10^4
<i>Porphyry (various)</i>	60 – 10^4	<i>Sandstones</i>	1 – 6.4×10^8
<i>Dacite</i>	2×10^4 (wet)	<i>Limestones</i>	50 – 10^7
<i>Andesite</i>	4.5×10^4 (wet) – 1.7×10^2 (dry)	<i>Dolomite</i>	3.5×10^2 – 5×10^3
<i>Diabase (various)</i>	20 – 5×10^7	<i>Unconsolidated wet clay</i>	20
<i>Lavas</i>	10^2 – 5×10^4	<i>Marls</i>	3 – 70
<i>Gabbro</i>	10^3 – 10^6	<i>Clays</i>	1 – 100
<i>Basalt</i>	10 – 1.7×10^7 (dry)	<i>Oil sands</i>	4 – 800
<i>Olivine norite</i>	10^3 – 6×10^4 (wet)	<i>Surface water (ign rock)</i>	0.1 – 3×10^3
<i>Peridotite</i>	3×10^3 (wet) – 6.5×10^3 (dry)	<i>Surface water (sediments)</i>	10 – 100
<i>Hornfels</i>	8×10^3 (wet) – 6×10^7 (dry)	<i>Soil waters</i>	100
<i>Schists (calcareous and mica)</i>	20 – 10^4	<i>Natural water (ign rock)</i>	0.5 – 150
<i>Tuffs</i>	2×10^3 (wet) – 10^5 (dry)	<i>Natural water (sediments)</i>	1 – 100
<i>Graphite schists</i>	10 – 10^2	<i>Sea water</i>	0.2
<i>Slate (various)</i>	6×10^2 – 4×10^7		

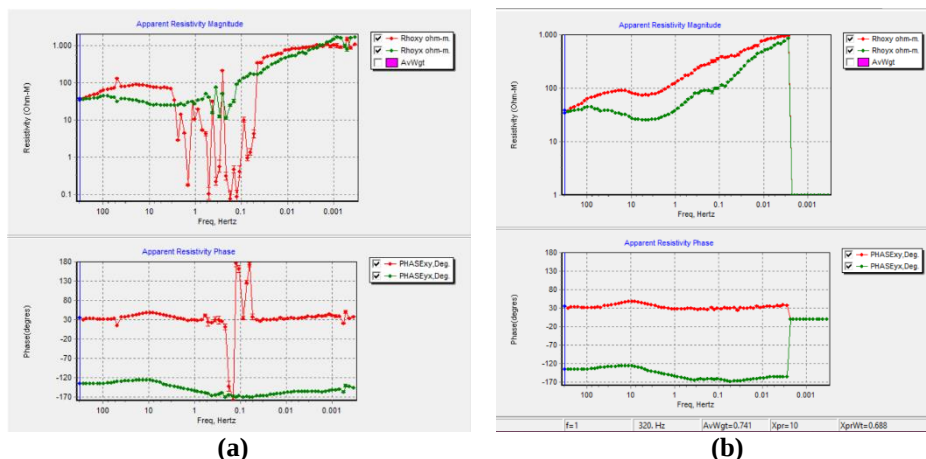
Pada daerah penelitian, stratigrafi terdiri dari Satuan Batuan Metamorf (Km), Satuan Batugamping (Qgt), Satuan Aliran Piroklastik Gunung Pele (Tap), Satuan Lava Gunung Lansa (Qll), Satuan Lava Gunung Pele (Qlp), Satuan Jatuhan Piroklastik Gunung Lansa (Qjl), Satuan Endapan Koluvial (Qk), dan Satuan Endapan Aluvial (Al) [1].

Kondisi geologi sistem panas menyebabkan timbulnya anomali resistivitas di bawah permukaan. Resistivitas batuan merupakan hambatan dari batuan terhadap aliran listrik [7]. Resistivitas (ρ) adalah kemampuan suatu bahan untuk mengantarkan arus listrik yang bergantung terhadap besarnya medan listrik dan kerapatan arus [13]. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas, yakni porositas, permeabilitas, jenis batuan dan temperatur tinggi [14]. Nilai resistivitas rendah disebabkan batuan alterasi di sekitar mata air panas. Batuan hasil hidrotermal sangat bergantung kepada tempratur, jenis batuan, komposisi fluida panas bumi dan tekanan [6]. Nilai resistivitas setiap batuan dapat dilihat pada tabel 1.

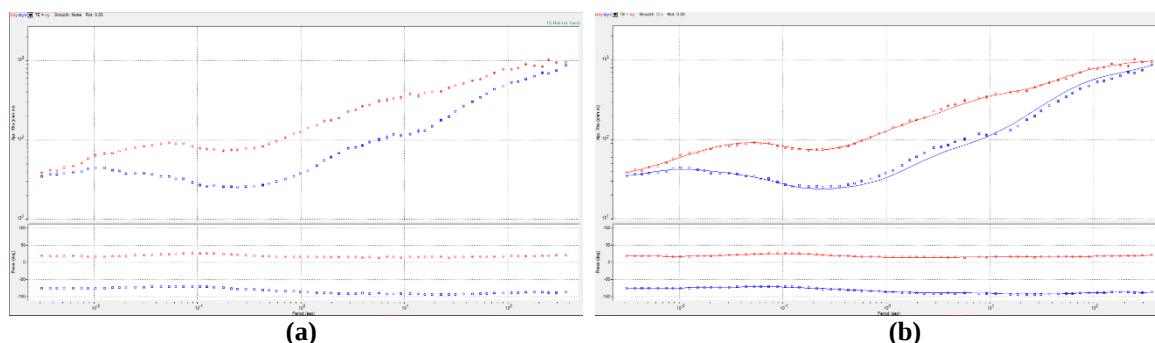
2. Metode Penelitian

Daerah penelitian berada di daerah Songa-Wayaua, Bacan Timur, Kab. Hal Sel, Maluku Utara dengan luas wilayah diperkirakan $\pm 11,25$ km². Data magnetotelurik yang akan digunakan adalah data sekunder dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP). Data mentah yang didapatkan pada pengukuran masih berupa *time series* dengan format (.TBL, .TS3, .TS4, .TS5), file kalibrasi dengan format (.CLC). Kemudian akan diolah menjadi model 2 dimensi (2D) persebaran nilai resistivitas bawah permukaan untuk mengidentifikasi komponen panas bumi, yaitu reservoir, *claycap* dan *heat source*. Data pendukung yang diperlukan adalah data geologi berupa peta geologi yang digunakan pada saat interpretasi.

Hasil perekaman data MT adalah data berupa *time series* yang memberikan informasi mengenai data medan elektromagnetik yang terekam terhadap waktu. Untuk mengubah data MT dari domain waktu ke domain frekuensi dilakukan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) pada *software* SSMT2000.



Gambar 2. (a). Kurva MT Sebelum Editing Data (b). Kurva MT Sesudah Editing Data



Gambar 3. (a). Kurva MT Sebelum Smoothing Data (b). Kurva MT Sesudah Smoothing Data.

Editing data dilakukan dengan *software* MT Editor untuk memperbaiki kurva tahanan jenis dan fase yang masih kurang baik. *Masking* data dilakukan dengan cara menghapus data hasil *editing* menggunakan *Software* MTEditor [8].

Sedangkan *smoothing* data dilakukan untuk menampilkan *trend* dari data tersebut. Jenis *smoothing* yang dilakukan, didominasi dengan *smoothing* D+ dan *smoothing* numerical pada beberapa titik pengukuran yang datanya kurang baik [8].

Pemodelan 1 dimensi (1D) pada penelitian ini terdiri dari *forward* dan *inverse modelling*. Pada inversi *Bostick* pemodelan yang dilakukan adalah *forward modelling* dengan membuat model 1D hingga kurva data yang terkalkulasi cocok dengan data observasi (*trial and error*), sehingga model 1D yang dihasilkan mendekati keadaan yang sebenarnya di lapangan. Pemodelan 2D dilakukan untuk memperoleh persebaran nilai resistivitas bawah permukaan yaitu dengan mencocokkan kurva model matematis dengan data lapangan. Pembuatan model 2D dilakukan dengan menggunakan *software* WinGlink. Model dasar dalam inversi 2D adalah pemodelan dengan menggunakan kurva *Mode Invariant* yang merupakan gabungan dari mode *Transverse Electric* (TE) dan *Transverse Magnetic* (TM). Parameter inversi yang digunakan adalah Nilai Tau, *error* data, *error floor*.

Interpretasi dilakukan pada hasil pemodelan 2D yang menunjukkan area panas bumi di Songa-Wayaua dan struktur reservoir serta dihubungkan dengan geologi regional wilayah tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Data sekunder yang didapat berupa data *time series* dengan format (.TS), dengan titik pengukuran sebanyak 7 titik. Data yang terekam yaitu medan listrik (Ex, Ey) dan medan magnet (Hx, Hy, Hz).

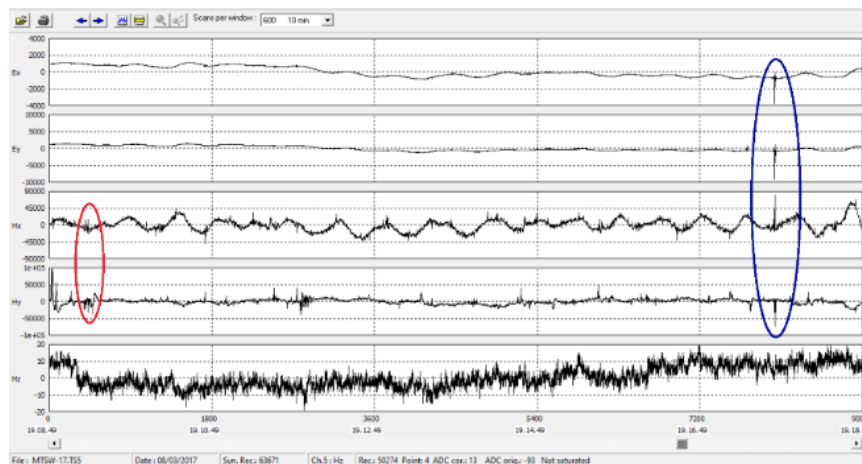
Gambar 4 menunjukkan *time series* dari titik pengukuran MTSW-17 dimana data tersebut masih terdapat adanya *noise* koheren (merah) dan inkoheren (biru). *Noise* koheren disebabkan oleh gejala alam seperti petir dan badai matahari dan juga gangguan medan tambahan seperti adanya tiang listrik atau kabel-kabel listrik sedangkan *noise* inkoheren disebabkan terjadinya gangguan pada saat pengukuran contohnya kabel terinjak atau tersenggol yang mempengaruhi pembacaan [4]. Pada titik MTSW-17 (Gambar 4) terdapat 1 *noise* koheren dan *noise* inkoheren. Titik MTSW-16 memiliki 1 *noise* inkoheren dan 2 *noise* koheren. Titik MTSW-18 terdapat 2 *noise* inkoheren dan tidak ada *noise* koheren. Titik pengukuran MTSW-19 memiliki 2 *noise* koheren dan 1 *noise* inkoheren. Titik MTSW-20 terdapat 2 *noise* koheren dan 1 *noise* inkoheren.

Titik MTSW-21 terdapat 2 *noise* koheren dan 2 *noise* inkoheren. Titik MTSW-22 terdapat 1 *noise* koheren dan 1 *noise* inkoheren.

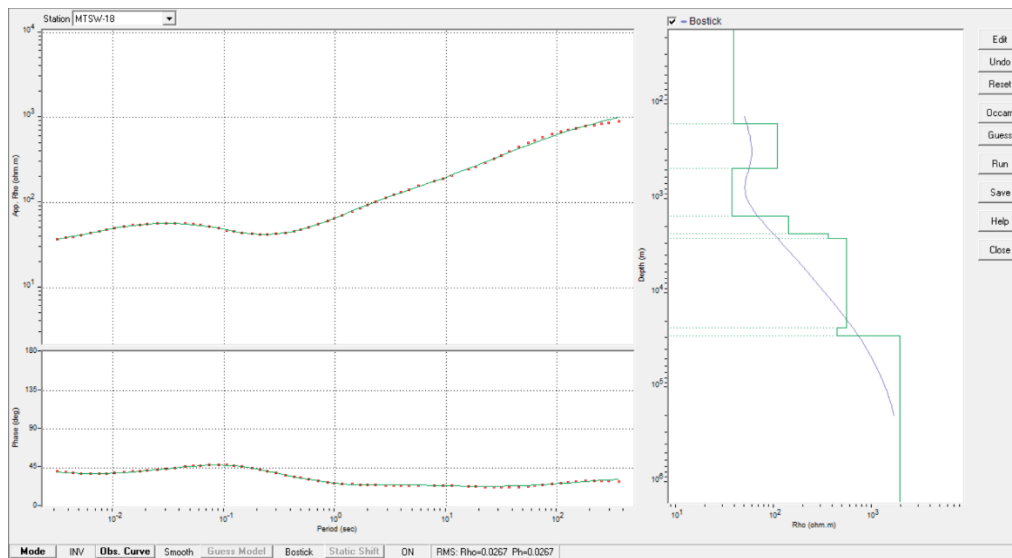
Pemodelan 1D merupakan *sounding* dari setiap titik-titik pengukuran MT. Penampang 1D didapatkan dengan menggunakan mode invarian atau gabungan dari metode TE dan TM berdasarkan inversi *bostick*. Model yang didapat berupa penampang sebaran nilai resistivitas terhadap kedalaman, batas lapisan batuan

serta ketebalan dari setiap batuan yang dilihat dari kontras nilai resistivitas.

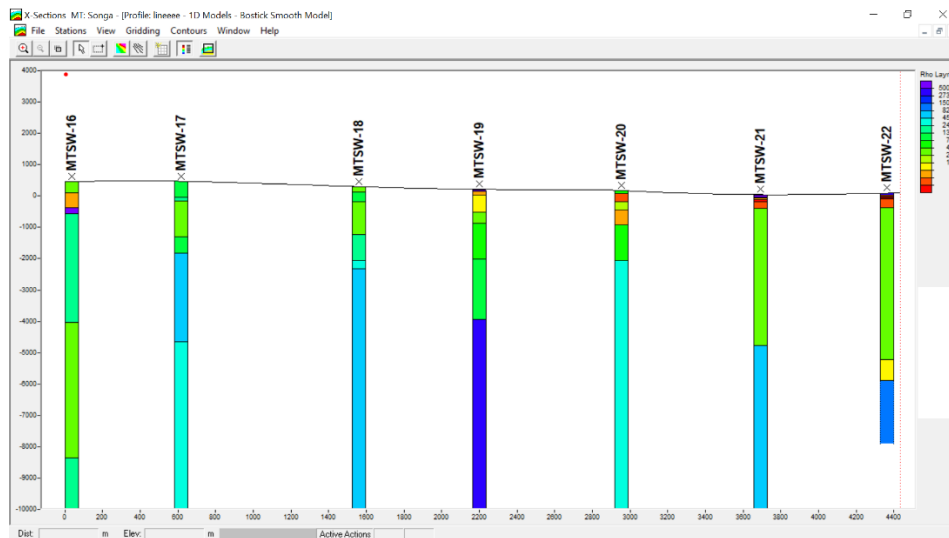
Penampang 1D model *cross section* merupakan *sounding* 1D dari setiap pengukuran yang dikorelasikan berdasarkan kesamaan nilai resistivitasnya. Gambar 3 menunjukkan 7 titik pengukuran lapangan yaitu MTSW-16, MTSW-17, MTSW-18, MTSW-19, MTSW-20, MTSW-21 dan MTSW-22. Model tersebut menunjukkan batas lapisan dan perubahan nilai resistivitas terhadap kedalaman.



Gambar 4. Time Series MTSW-17 (*Noise* Koheren Berwarna Merah dan *Noise* Inkoheren Berwarna Biru).



Gambar 5. Sounding 1D Mode Invarian TE+TM



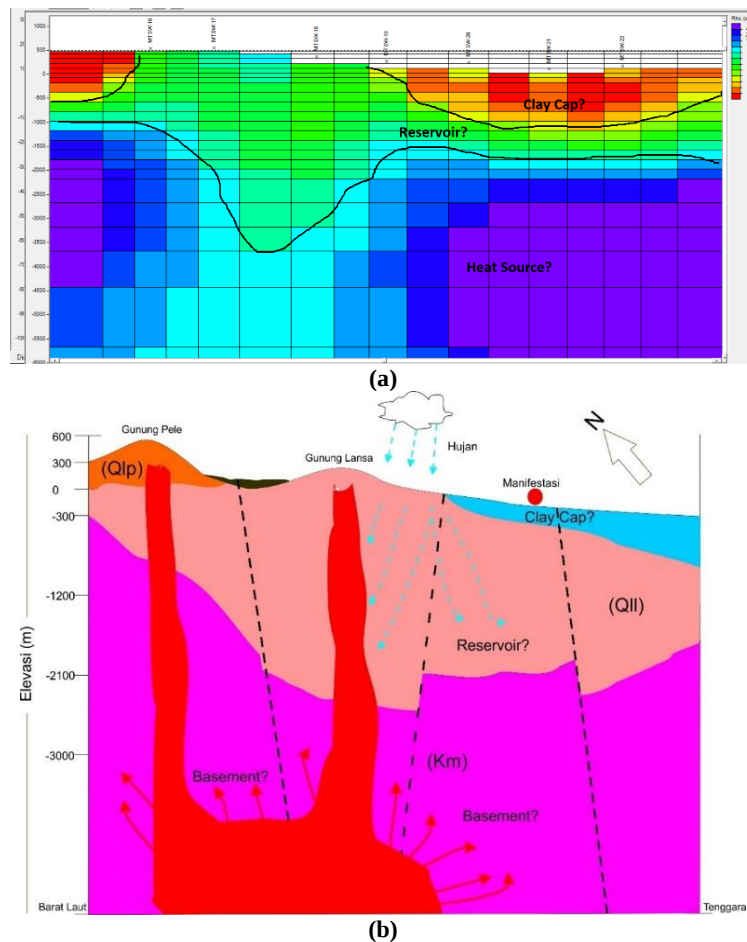
Gambar 6. Penampang 1D Model Cross Section.

Gambar 6 merupakan Penampang 1D model *cross section* dari data magnetotelurik yang menyerupai model data *log bor* yang menunjukkan nilai resistivitas terhadap kedalaman pada setiap titik lokasi pengukuran. Titik pengukuran MTSW-16 pada kedalaman 0-400 m dan 4000-8200 m memiliki rentang nilai resistivitas 4-40 Ωm diduga sebagai batuan lempung dan diduga sebagai zona *clay cap*, pada kedalaman 400-600 m memiliki nilai resistivitas dengan rentang 2500-5000 Ωm diduga sebagai sumber panas (*heat source*), pada kedalaman 600-4000 m dan 8200-10000 m memiliki nilai resistivitas dengan rentang 75-250 Ωm diduga sebagai batuan lava andesit dan diduga sebagai zona reservoir.

Titik MTSW-17 pada kedalaman 0-1900 m memiliki nilai resistivitas sebesar 20-135 Ωm diduga sebagai zona reservoir yang diperkirakan produk vulkanik seperti lava andesit, pada kedalaman 1900-4800 m dengan nilai resistivitas sebesar 450-1000 Ωm diduga sebagai sumber panas (*heat source*), pada kedalaman 4800-10000 m dengan rentang nilai resistivitas 75-250 Ωm diduga sebagai batuan lava andesit dan diduga sebagai zona reservoir. Titik MTSW-18 pada kedalaman 0-2000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 20-135 Ωm diduga sebagai zona reservoir yang diperkirakan produk vulkanik seperti lava andesit, pada kedalaman 2000-10000 m dengan nilai resistivitas sebesar 450-1000 Ωm diduga sebagai sumber panas (*heat source*). Titik MTSW-19 pada kedalaman 0-2000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 2-75 Ωm yang diduga sebagai zona *clay cap* dan berdasarkan nilai resistivitasnya diperkirakan sebagai batuan lempung, pada kedalaman 2000-3900 m memiliki nilai resistivitas sebesar 75-250 Ωm diduga merupakan batuan lava andesit yang diperkirakan sebagai zona reservoir, pada kedalaman 3900-10000 m memiliki nilai resistivitas yang tinggi yaitu sebesar 1500-5000 Ωm yang diduga sebagai

sumber panas (*heat source*). Titik MTSW-20 pada kedalaman 0-2000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 2-75 Ωm diperkirakan merupakan batuan lempung yang diduga sebagai zona *clay cap*, pada kedalaman 2000-10000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 75-250 Ωm diduga merupakan batuan lava andesit yang diperkirakan sebagai zona reservoir. Titik MTSW-21 pada kedalaman 0-450 m memiliki nilai resistivitas yang rendah yaitu sebesar 2-40 Ωm diduga sebagai zona *clay cap*, yang diindikasikan sebagai zona impermeabel pada batuan yang berasosiasi dengan resistivitas rendah yang impermeabel menyimpan fluida pada batuan yang mengakibatkan adanya nilai resistivitas rendah, pada kedalaman 4500-10000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 450-1000 Ωm yang diduga sebagai sumber panas (*heat source*). Titik MTSW-22 memiliki nilai resistivitas 3-30 Ωm pada kedalaman 0-5500 m diduga sebagai zona *clay cap*, pada kedalaman 5500-8000 m memiliki nilai resistivitas sebesar 800-1500 Ωm yang diduga sebagai sumber panas (*heat source*).

Pemodelan 2D merupakan penampang resistivitas batuan bawah permukaan dengan menggabungkan masing-masing titik pengukuran magnetotelurik dalam satu lintasan. Terdapat 7 titik pengukuran pada lintasan ini, yaitu MTSW-6, MTSW-17, MTSW-18, MTSW-19, MTSW-20, MTSW-21 dan MTSW-22. Pemodelan 2D menampilkan persebaran resistivitas secara vertikal dan lateral, dimana pemodelan 2D pada penelitian ini menggunakan mode invarian atau gabungan dari mode TE dan TM. Pemodelan 2D ini menghasilkan gambaran tentang struktur bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan sebaran nilai resistivitas batuan penyusunnya. Sistem panas bumi Songa-Wayau berada pada lingkungan vulkanik, dimana zona reservoir terletak di zona permeabilitas tinggi berada pada satuan Lava gunung langsa (Qll) yang telah terkena patahan.



Gambar 7. (a). Model Penampang 2 Dimensi (b). Model Konseptual Sistem Panas Bumi Songa-Wayau.

Berdasarkan hasil data magnetotelurik yang dapat dilihat pada Gambar 7 (a) yang merupakan hasil pemodelan resistivitas 2D dimana dapat dilihat lapisan pertama pada titik MTSW-19 sampai MTSW-22 memiliki sebaran resistivitas yang rendah ($< 30 \Omega m$) dengan kedalaman sekitar 500 m yang diperkirakan berasosiasi dengan batuan ubahan akibat fluida panas naik ke permukaan, dimana lapisan ini diduga sebagai batuan penutup (*cap rock*). Pada lapisan kedua sepanjang lintasan pengukuran memiliki resistivitas sedang ($50-600 \Omega m$) yang diduga sebagai reservoir pada sistem panas bumi Songa-Wayau, lapisan kedua ini memiliki kedalaman berkisar 500-1500 m. Pada lapisan ketiga memiliki kedalaman sekitar 1500 m dengan sebaran resistivitas tinggi ($1000-4500 \Omega m$) yang berada diantara Gunung Pele dan Gunung Lansia diduga sebagai sumber panas dari sistem panas bumi Songa-Wayau. Fluida panas yang berada di bawah mata air panas secara konvektif teralirkan ke atas permukaan melalui zona patahan (rekahan batuan). Dapat dilihat pada Gambar 7 (a) terdapat dua sesar yang diduga sebagai patahan yang menjadi pengontrol munculnya mata air panas.

Struktur bawah permukaan prospek panas bumi Songa Wayau (Gambar 7 b) berdasarkan sayatan penampang A-A' terlihat adanya Sesar Pele dan Sesar

Lapan yang di duga sebagai pengontrol munculnya manifestasi panas bumi Songa-Wayau. Berdasarkan resistivitas batuan ditunjukkan bahwa litologi daerah penelitian terdiri dari lapisan *caprock*, batuan reservoir, batuan dasar (*basement*) dan *Heat source* (sumber panas). Batuan penutup berupa *clay-cap* berada diantara zona reservoir dengan tanah penutup (*over burden*). Batuan konduktif berupa batuan dasar umur Kapur yang terkristalkan dan tersilisifikasi, bersifat mengkonduksikan panas di *heat source* ke permukaan. Hasil dari investigasi geologi, penyebaran batuan di daerah panas bumi Songa-Wayau disusun oleh batuan vulkanik berumur Kapur hingga Kuartar. Berdasarkan dari struktur geologinya Manifestasi yg muncul di permukaan merupakan aktivitas dari pergerakan patahan atau sesar Pele dengan arah Barat Daya-Timur Laut dan patahan atau sesar dengan arah Utara-Selatan.

Keberadaan Sesar Pele dan Sesar Lapan yang berada pada bagian kompleks batuan produk vulkanik sehingga berkaitan dengan proses pembentukan dari sistem panas bumi Songa-Wayau dan sistem panas bumi di daerah penelitian ini memiliki *heat source* berupa batuan vulkanik yang sudah tua dan aktif akibat proses tektonik. Dari hasil interpretasi metode Magnetotelurik dapat diketahui bahwa sebaran

resistivitas tinggi berada di antara gunung pele dan gunung langsa dan diinterpretasikan sebagai *heat source* (sumber panas) dari sistem panas bumi Songa-Wayaua. Fluida panas bumi merambat ke atas melalui zona patahan yang berada di daerah penelitian. Fluida yang terpanasi secara konveksi tersebut kemudian mengubah mineral-mineral dalam batuan aliran piroklastik dan aliran lava hingga batuan tersebut menjadi batuan (impermeable) dan berperan sebagai *caprock*.

Hal ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Bakrun et al [1] dan Rezky et al [8]. Bakrun et al mendapati batuan dasar (*basement*) pada daerah penelitian berupa batuan malihan atau metamorfik berumur Kapur dan vulkanik Tersier yang terkristalkan dan telah tersilisifikasi. Rambatan panas secara konduksi tersalurkan naik melalui batuan tersebut, dan mengakumulasi menimbulkan fluida bersifat asam yang merubah batuan *host-rocks* menjadi alterasi atau lempung ubahan. Fluida panas di kedalaman manifestasi Pele-pele, secara konveksi teralirkan naik ke permukaan melalui permeabilitas batuan dan zona patahan muncul sebagai mata airpanas dengan pH relatif normal. Keberadaan zona alterasi disekitar manifestasi hingga kedalaman 750 m diduga sebagai lapisan penudung, sedangkan keberadaan puncak reservoir berada mulai kedalaman 750-1000 m. Pada kedalaman 2000 m sebaran nilai resistivitas yang tinggi berada di antara Gunung Pele dan Gunung Lansa diinterpretasikan sebagai sumber panas dari sistem panas bumi Songa-Wayaua [1].

Rezky et al membuat Model inversi 3D dari data gaya berat yang menunjukkan sistem panas bumi terkonsentrasi di bawah struktur Songa-Wayaua, antara Gunung Lansa dan Gunung Pele. Kedua benda tersebut merupakan batuan vulkanik termuda dan diperkirakan sebagai sumber panas sistem panas bumi di kawasan ini. Ketebalan lapisan batuan alterasi diperkirakan lebih dari 500 m yang bertindak sebagai lapisan penutup. Di bawahnya adalah lapisan reservoir, dari kedalaman >750 meter dengan perkiraan ketebalan 750-1000 m. Sumber panas sistem panas bumi di Songa-Wayaua berasal dari aktivitas vulkanik termuda yaitu Gunung Lansa dan Gunung Pele [8].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi dapat disimpulkan bahwa sebaran nilai resistivitas pada daerah prospek panas bumi Songa-Wayaua berkisar antara 1 sampai >4500 Ω m. Sebaran nilai resistivitas pada mata air berkisar 1 sampai 15 Ω m, sedangkan berdasarkan pemodelan 2D hasil nilai resistivitas berada di sepanjang Barat Laut-Tenggara. Sistem panas bumi daerah Songa-Wayaua terdiri dari

caprock (2 sampai <30 Ω m) dengan kedalaman sekitar 500 m, reservoir (50 sampai 600 Ω m) dengan ketebalan sekitar 1000 m dan sumber panas (1000 sampai >4500 Ω m). Terdapat 2 sesar di sepanjang lintasan pengukuran yaitu sesar pertama merupakan patahan lapan dan sesar lainnya diduga sebagai pengontrol munculnya mata air panas.

Ucapan Terima Kasih. Penulis mengucapkan terima kasih kepada PSDMBP yang telah memberikan data hasil pengukuran magnetotelurik sebagai bahan penelitian, terutama kepada Bapak Wiwid Joni yang memperkenalkan dan mengajari *software* yang digunakan dalam pengolahan data. Terima kasih juga kepada Program Studi Teknik Geofisika dan Teknik Kimia Universitas Jambi, terutama pada Ibu Ichy Lucy Resto dan Bapak Faizar Farid karena sudah membimbing dan mengarahkan penulis pada saat pengolahan data.

Daftar Pustaka

- [1] Bakrun., Situmorang, T., Sulaeman, B., Sundhoro, H., Idris, A., dan Liliek, H., 2006, *Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Songa-Wayaua*, Kabupaten Halmahera Selatan, Maluku Utara.
- [2] Dickson, M., dan Fanelli, M. 2004. *What is Geothermal Energy*. *Istituti di Geoscienze e Georisorse*. Italia: CNR.
- [3] Direktorat Panas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2017, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 2*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- [4] Dwiyanoro, R. R., Junursyah, L., & Yatini, Y. 2018. *Rise of Magnetotelluric Data Quality Based on Coherence Parameter in Savu Basin, East Nusa Tenggara*. Prosiding ISPG 2018.
- [5] Hochstein, M. P., dan Caldwell, T.G. 1985. *Heat Source Characteristics of Some Warm and Hot Spring Systems in China*. Auckland: Auckland University.
- [6] Mahardika, R., Ichy, L.R., Yulia, M.S., dan Agus, K. 2020. Identifikasi Keberadaan Manifestasi Daerah Panasbumi Gunung Sumbing, Jangkat Berdasarkan Interpretasi Data Landsat 8 dan Geolistrik. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Mineral*, Vol. 21, No.4 : 207-215.
- [7] Palacky, C.J. 1987. Resistivity Characteristics of Geological Targets, In *Elektromagnetik Methods in Applied Geophysical*. Investigation in Geophysics. Vol. 1 No. 3 Hal: 53-129.
- [8] Rezky, Y., Zarkasyi, A., and Simarmata. 2015. *Geothermal System and Conceptual Model of Songa-Wayaua, North Maluku, Indonesia*. Center for Geological Resources - Geological Agency: Bandung.

- [9] Simpson, F. dan Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. University Press. Cambridge.
- [10] Suharno. 2010. *Pengembangan Prospek Panas Bumi*. Univesitas Lampung. Bandar Lampung.
- [11] Telford, W. M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics 2nd ed.* Cambridge: Cambridge University Press.
- [12] Unsworth, M. 2006. *Electromagnetic and Potential Field Method Geophysics* 424. Alberta: University of Alberta.
- [13] Unsworth, M. 2008. *Electromagnetic Exploration Methods*. Alberta: University of Alberta.
- [14] Ussher. 2000. *Understanding Resistivity Observed in Geothermal System, Procceding Word Geothermal Congress*, Kyushu-Tohoku, Japan. Hal 1915-1920.
- [15] Vozoff, K. 1991. *The Magnetotelluric Method, Electromagnetic Method in Applied Geophysics*-Application, Society of Exploration Geophysics.
- [16] Xiao, W. 2004. *Magnetotelluric Exploration in the Rocky Mountain Foothills*. Alberta: University of Alberta.