



PEMODELAN SISTEM PANASBUMI PADA SUMUR ML-1, ML-2 DAN ML-3 BERDASARKAN ANALISIS PETROGRAFI DAN MAGNETOTELLURIK DI LAPANGAN PANASBUMI SORIK MARAPI, KABUPATEN MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

Muhammad Luthfi^{1*}, Agus Didit Haryanto¹, Johannes Hutabarat¹ Haris Siagian²

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

²PT. KS Orka Rewenable Pte Ltd, Jl. Adityawarman No.55 Jakarta Selatan, 12160

*Korespondensi: muhammad16126@mail.unpad.ac.id

SARI

Daerah penelitian terletak di lapangan panasbumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Untuk mengetahui sistem panasbumi suatu daerah dapat menggunakan data serbuk bor yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik litologi serta tingkat alterasi dan pengukuran resistivitas dengan metode magnetotellurik yang bertujuan untuk mengetahui persebaran nilai tahanan jenis (resistivitas) bawah permukaan. Dengan menggunakan data serbuk bor dan data magnetotellurik ini dinilai dapat menggambarkan sistem panasbumi dengan baik. Data serbuk bor diambil dari tiga sumur berbeda pada kedalaman 357 mKU, 816 mKU, 1605mKU dan 2190mKU pada sumur ML-1, 579mKU, 1687mKU dan 2191mKU pada sumur ML-2 dan 708mKU, 1431mKU dan 1944mKU pada sumur ML-3 sedangkan data magnetotellurik terbagi atas tiga lintasan yang memotong ketiga sumur hingga kedalaman 3000 m dibawah permukaan. Berdasarkan hasil analisis petrografi dan petrologi pada data serbuk bor diketahui daerah penelitian memiliki tiga zona alterasi yaitu zona Klorit-Smektit, zona Klorit-Anhidrit dan zona Epidot-Illit-Anhidrit. Hasil kombinasi antara zona alterasi dan nilai tahanan jenis (resistivitas) dari magnetotellurik menunjukkan bahwa model sistem panasbumi di lapangan panasbumi Sorik Marapi terdiri atas zona penudung berada pada zona alterasi Klorit-Smektit yang memiliki nilai resistivitas $<10 \Omega\text{m}$ dengan kedalaman $\pm 40\text{mKU}$ hingga $\pm 816\text{mKU}$ yang menebal ke arah tengah daerah penelitian, zona transisi berada pada zona alterasi Klorit-Anhidrit yang memiliki nilai resistivitas 23,3-44,3 Ωm dengan kedalaman $\pm 816 \text{ mKU}$ hingga $\pm 1431 \text{ mKU}$ dengan arah semakin dalam kearah barat laut dan zona reservoir berada pada zona alterasi Epidot-Illit-Anhidrit yang memiliki nilai resistivitas 44,3 – 115,7 Ωm dengan kedalaman lebih dari $\pm 1431 \text{ mKU}$.

Kata kunci : Alterasi, Magnetotellurik, Petrografi, Resistivitas, Sorik Marapi

ABSTRACT

The research area is located in the Sorik Marapi geothermal field, Mandailing Natal District, North Sumatra. To know the geothermal system of an area can use cutting data that to determine the lithological and alteration characteristics and resistivity measurement by magnetotelluric method that to determine the distribution resistivity values in subsurface. By using cutting data and magnetotelluric data, which could portray an approximated subsurface geothermal system. Drill cutting data were taken from three different wells at a depth of 357 mMD, 816 mMD, 1605mMD and 2190mMD at ML-1 well, 579mMD, 1687mMD and 2191mMD at ML-2 and 708mMD wells, 1431mMD and 1944mMD at ML-3 wells, and magnetotelluric data is divided into three section that cross three of wells to depths 3000 m below surface. Based on petrographic analysis and petrological data on drill cuttings, that the study area has three alteration zones, Chlorite-Smectite zone, Chlorite-Anhydrite zone and Epidot-Illite-Anhydrite zone. The results between alteration zones and resistivity values of magnetotellurics indicate that the geothermal system model in the Sorik Marapi geothermal field consists of a claycap zone located in the Chlorite-Smectite alteration zone which has a resistivity value $<10 \Omega\text{m}$ with a depth of $\pm 40\text{mMD}$ to $\pm 816\text{mMD}$ thickened towards the middle of the study area, transition zone is in the Chlorite-Anhydrite alteration zone which has a resistivity value of 23,3-44,3 Ωm with a depth of $\pm 816 \text{ mMD}$ to $\pm 1431 \text{ mMD}$ with thickened towards towards the northwest and reservoir zone located in the alteration zone Epidot-Illite-Anhydrite which has a resistivity value of 44,3 – 115,7 Ωm with a depth of more than $\pm 1431\text{mMD}$.

Keywords: Alteration, Magnetotelluric, Petrography, Resistivity, Sorik Marapi

1. PENDAHULUAN

Sistem panasbumi terdiri dari sumber panas, batuan penudung, reservoir, fluida panas dan rekahan (Hochstein dan Caldwell, 1985). Interaksi antara fluida dan batuan sekitar yang terjadi pada sistem panasbumi menghasilkan mineral-mineral alterasi yang dapat dijadikan indikator dalam penentuan sistem panasbumi suatu daerah (Browne, 1991).

Alterasi hidrotermal merupakan perubahan pada tekstur, mineralogi, dan komposisi kimia dari suatu batuan diakibatkan fluida hidrotermal (Hochstein dan Browne, 2000). Pembentukan mineral alterasi akibat fluida hidrotermal tergantung pada temperatur, komposisi dan konsentrasi fluida, komposisi batuan asal, permeabilitas, tekanan, dan durasi aktivitas hidrotermal (Browne, 1989).

Magnetotellurik merupakan salah satu metode geofisika pasif yang dapat menggambarkan struktur resistivitas di bawah permukaan. Metode ini dapat membantu dalam penentuan zona konduktif atau mineral lempung yang menjadi penudung bagi reservoir sistem panas bumi. Selain itu MT juga dapat mendukung hasil penelitian dari studi geologi dan geokimia dalam penyusunan strategi pengembangan lapangan panas bumi. (Anderson dkk, 2000).

Daerah penelitian secara administratif termasuk kedalam Sibangor Utara, Kecamatan Puncak Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara (Gambar 1.1).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem panasbumi berdasarkan data petrografi serta magnetotellurik guna mengetahui zona sebaran dari sistem panasbumi, kedalaman serta model konseptual dari zona sistem panasbumi Sorik Marapi.



Gambar 1.1. Peta Lokasi Penelitian

2. TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Daerah Penelitian

Pulau Sumatra yang secara fisiografi berarah barat laut merupakan perpanjangan ke selatan dari Lempeng Benua Eurasia, tepatnya berada pada batas barat dari Sundaland. Posisi Pulau Sumatra bersebelahan dengan batas antara Lempeng Samudra India-Australia dan Sundaland. Subduksi kedua lempeng ditandai oleh sistem punggung Sunda (*Sunda Arc System*) yang aktif dan memanjang dari Burma di utara hingga ke selatan dimana lempeng Australia mengalami tabrakan (*collision*) dengan bagian timur Indonesia (Hamilton, 1979).

Gunungapi Sorik Marapi merupakan gunungapi aktif kawah danau tipe-A dengan ketinggian 2145 mdpl dimana pada area prospek Sampuraga termasuk pada zona graben yang memiliki arah barat laut – tenggara yang terlihat di wilayah Panyambungan (graben Panyambungan), Rao (graben Rao) dan Lubuk Sikaping (Graben Sumpur) yang merupakan bagian dari sesar Sumatera. (NMS Rock dkk, 1983).

3. METODE

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk bor yang diambil dari tiga sumur berbeda pada kedalaman 357 meter kedalaman ukur (mKU), 816 mKU 1605mKU dan 2190mKU pada sumur ML-1, 579mKU, 1687mKU dan 2191mKU pada sumur ML-2 dan 708mKU, 1431mKU dan 1944mKU pada sumur ML-3 sedangkan data magnetotellurik terbagi atas tiga lintasan yang memotong ketiga sumur hingga kedalaman 3000 m dibawah permukaan.

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu analisis petrologi yang merupakan observasi megaskopis, analisis petrografi dan analisis nilai tahanan jenis yang dikorelasikan dengan data petrologi dan petrografi.

Analisis petrologi dilakukan dengan mendeskripsikan sampel serbuk bor secara megaskopis menggunakan bantuan lup dan mikroskop binokuler untuk mengetahui jenis litologi dan mineral pada tiap sampel. Analisis petrografi dilakukan dengan mengidentifikasi sampel yang telah menjadi sayatan tipis dengan bantuan mikroskop polarisasi untuk mengetahui komposisi mineral dari tiap sampel. Analisis magnetotellurik dilakukan setelah diolah oleh perangkat lunak untuk mengetahui sebaran lapisan secara horizontal yang telah dikombinasikan dengan data petrologi dan petrografi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Litologi

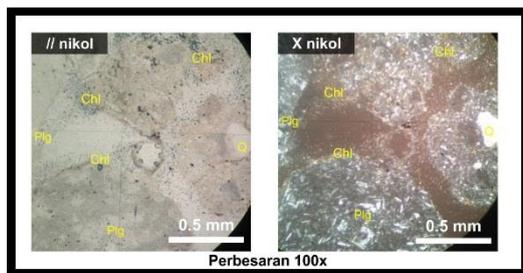
Berdasarkan deskripsi litologi pada analisis petrologi dan petrografi dari sampel serbuk bor, litologi pada sumur ML-1 tersusun atas tuf litik terubahkan (357 mKU dan 816mKU) dengan tingkat alterasi lemah hingga sedang (20-30%) serta andesit (1605 mKU dan 2190 mKU) dengan intensitas alterasi kuat (20-55%) (Browne, 1991). Pada sumur ML-2 tersusun atas litologi tuf litik terubahkan (579 mKU) dengan intensitas alterasi lemah (15%) dan andesit (1687 mKU dan 2191 mKU) dengan intensitas alterasi kuat (55%). Sedangkan pada sumur ML-3 tersusun atas litologi tuf litik terubahkan (708 mKU) dengan intensitas alterasi sedang (35%) dan andesit (1431 mKU dan 1944 mKU) dengan intensitas alterasi yang kuat (55%) (Browne, 1991).

4.2 Tipe Alterasi

Mineral hidrothermal muncul sebagai mineral pengganti, mengisi rongga, dan mengisi urat. Tipe alterasi daerah penelitian berdasarkan Browne (1984), yaitu :

a. Penggantian (*replacement*)

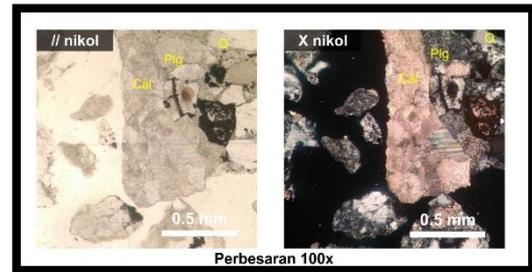
Tipe alterasi replacement pada umumnya menggantikan mineral primer seperti plagioklas, gelas vulkanik serta mikrolit plagioklas oleh mineral sekunder seperti kalsit, klorit, mineral lempung, anhidrit, epidot dan kuarsa sekunder. Proses penggantian mineral primer menjadi mineral sekunder dipengaruhi oleh tingkat permeabilitas dimana semakin besar tingkat permeabilitas maka semakin banyak mineral primer yang digantikan oleh mineral alterasi hidrothermal. Kemunculan mineral sekunder ini menunjukkan adanya interaksi antara fluida hidrothermal dengan batuan induk sehingga mengalami proses kesetimbangan dan menghasilkan mineral sekunder.



Gambar 4.1. Mineral klorit (Chl) hadir menggantikan sebagian mikrolit plagioklas pada sumur ML-1 (357 mKU)

b. Pengendapan Langsung (*Open Space Filling*)

Jenis alterasi ini ditemui pada agregat mineral sekunder yang mengisi rekahan dengan bentuk mengikuti rongga atau rekahan yang terjadi akibat fluida hidrothermal yang membawa unsur dan mengendapkan mineral pada tepi rongga atau rekahan. Pada sumur penelitian, mineral ubahan yang terbentuk melalui mekanisme pengisian rongga kosong ini adalah kalsit, epidot dan kuarsa sekunder.

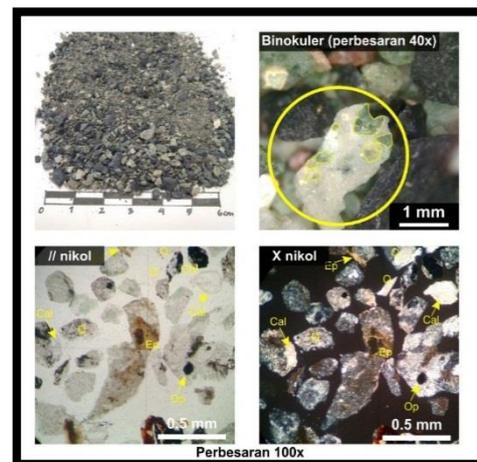


Gambar 4.2. Mineral Kalsit (Ca) hadir mengisi urat pada mineral plagioklas pada sumur ML-2 kedalaman 2191 mKU

4.3 Mineralogi

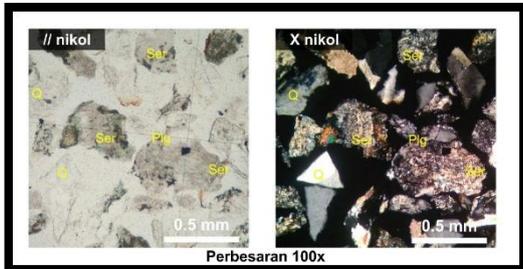
Mineral-mineral alterasi yang terdapat di setiap sumur penelitian adalah epidot, serisit, adularia, klorit, kuarsa sekunder, anhidrit, kalsit, mineral lempung, pirit, dan oksida besi. Kelimpahan mineral alterasi pada sumur ML-1, ML-2 dan ML-3 terlihat pada Tabel 4.1. Mineral yang hadir pada setiap sumur, antara lain :

a. Epidot ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 1605mKU dan 2190mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 1687mKU dan 2191mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 1431mKU dan 1944mKU. Epidot terbentuk pada pH netral dengan kandungan klorida dan silika yang tinggi dan kandungan CO₂ yang rendah hingga sedang (Morrison, 1997).



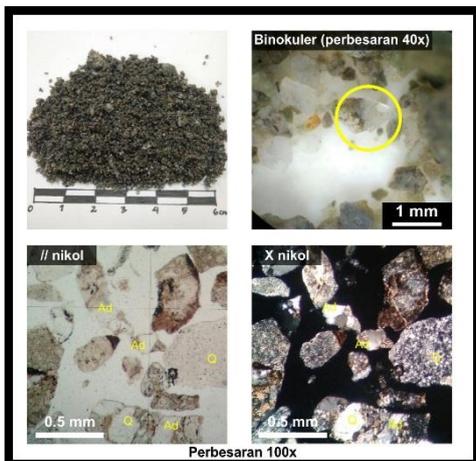
Gambar 4.3. Epidot (Ep) hadir mengisi urat pada sumur ML-1 kedalaman 1605 mKU

b.Serisit ditemukan pada sumur ML-2 di kedalaman 2191mKU dan pada sumur ML-3 muncul di kedalaman 1944mKU. Mineral ini hadir mengisi rongga dan rekahan serta hadir menggantikan plagioklas dan gelas vulkanik.



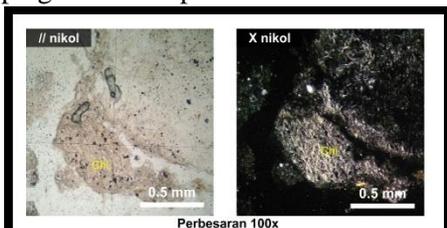
Gambar 4.4. Serisit (Ser) hadir mengisi rongga pada sumur ML-3 kedalaman 1944 mKU

c.Adularia ditemukan s pada sumur ML-2 di kedalaman 1687mKU dan pada sumur ML-3 muncul di kedalaman 1431mKU sebagai mineral pengganti plagioklas dan mengisi urat.



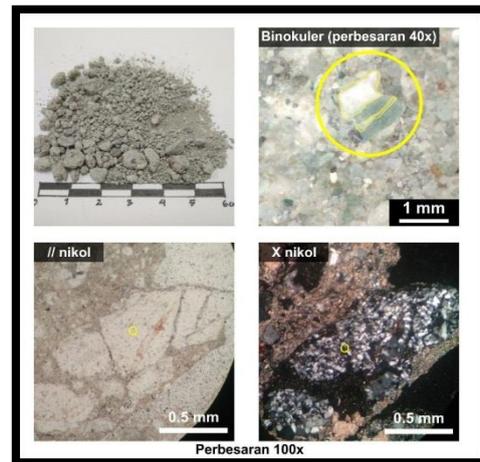
Gambar 4.5. Adularia (Ad) hadir menggantikan plagioklas pada sumur ML-2 kedalaman 1687 mKU

d.Klorit ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 357mKU, dan 816mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 579mKU, dan 1687mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 708mKU yang mengubah mineral plagioklas dan piroksen.



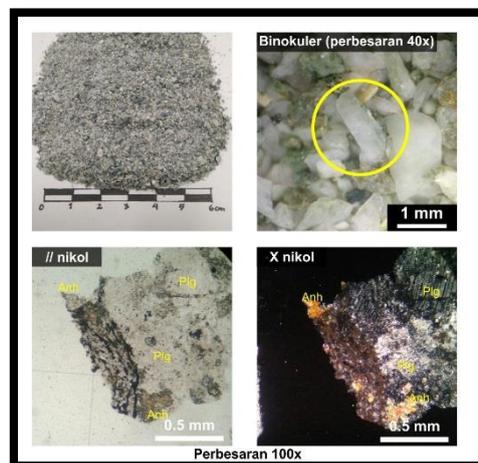
Gambar 4.6. Klorit (Chl) hadir pada tepi plagioklas pada sumur ML-3 kedalaman 708 mKU

e.Kuarsa Sekunder ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 816mKU dan 1605mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 1687mKU dan 2191mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 708mKU dan 1431mKU sebagai mineral pengganti dan memiliki tekstur *mosaic* pengisi rongga.



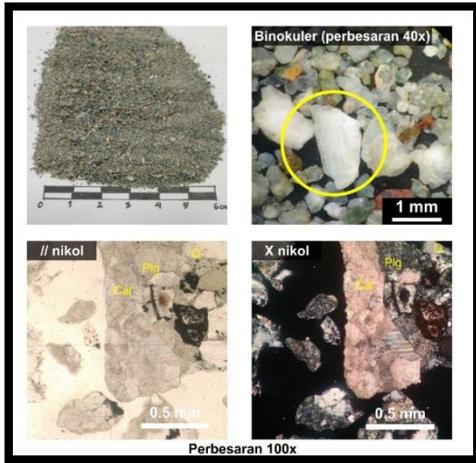
Gambar 4.7. Kuarsa sekunder (Q) tekstur mozaik hadir mengisi rongga pada sumur ML-1 kedalaman 816 mKU

f. Anhidrit ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 816mKU, 1605mKU dan 2190mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 1687mKU dan 2191mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 1431mKU dan merupakan ubahan dari plagioklas dan kalsit.



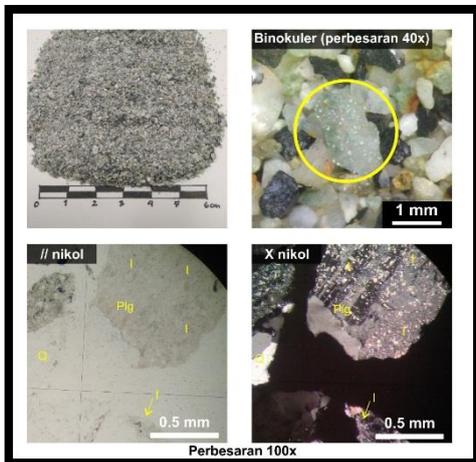
Gambar 4.8. Anhidrit (Anh) hadir menggantikan plagioklas pada sumur ML-3 kedalaman 1431 mKU

g.Kalsit ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 1605mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 1687mKU, dan 2191mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 1944mKU.



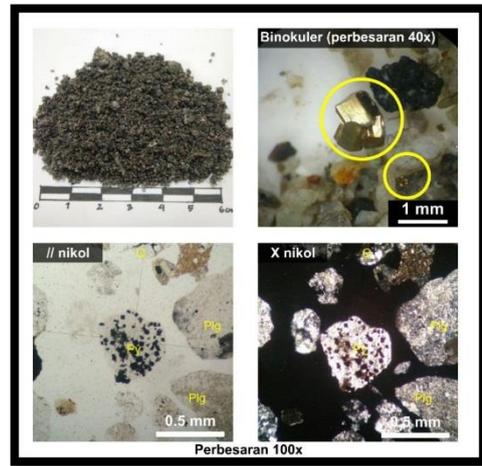
Gambar 4.9. Kalsit (Cal) hadir mengisi urat pada sumur ML-2 kedalaman 2191 mKU

h. Mineral Lempung berdasarkan analisis petrografi, jenis mineral lempung tidak dapat diamati/diidentifikasi dengan baik tanpa dukungan dari data XRD. Namun pada sumur penelitian diperkirakan mineral lempung yang teramati pada analisis petrografi jenis mineral lempung smektit dan illit.



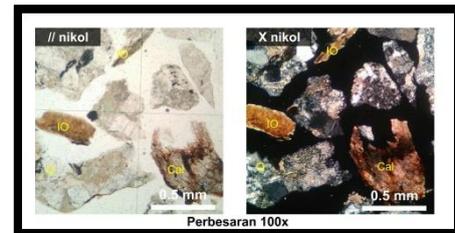
Gambar 4.10. Illit (I) hadir pada sumur ML-3 kedalaman 1431 mKU

i. Pirit ditemukan pada sumur ML-1 di kedalaman 1605mKU dan 2190mKU, pada sumur ML-2 muncul di kedalaman 1687mKU dan 2191mKU serta pada sumur ML-3 mineral ini cukup melimpah, muncul di kedalaman 1431mKU dan 1944mKU. Pirit hadir menggantikan plagioklas dan masa dasar gelas.



Gambar 4.11. Pirit (Py) hadir menggantikan plagioklas pada sumur ML-2 kedalaman 2191 mKU

j. Oksida besi ditemukan pada sumur ML-2 di kedalaman 2191mKU dan pada sumur ML-3 muncul di kedalaman 1431mKU.



Gambar 4.12. Oksida Besi (IO) hadir pada sumur ML-2 kedalaman 2191 mKU

4.4 Zona Alterasi Sumur Penelitian

Berdasarkan kelimpahan asosiasi mineral ubahan sumur ML-1 terbagi atas tiga zona alterasi hidrotermal, yaitu Zona Klorit-Smektit, Zona Klorit-Anhidrit, dan Zona Epidot-Illit-Anhidrit.

a. Zona Klorit-Smektit

Zona ini didominasi oleh kehadiran mineral klorit dan smektit. Ditemukan pula mineral limonit, orpimen serta kuarsa sekunder dengan persentase yang tidak banyak. zona ini memiliki intensitas mineral lempung yang lebih tinggi dari zona lainnya dan diperkirakan sebagai zona penudung pada sistem panasbumi dengan kedalaman $\pm 50 - 816$ mKU. Berdasarkan pembagian zona alterasi zona ini termasuk kedalam zona argilik (Corbett dan Leach, 1997) sedangkan zona ini memiliki temperatur $120-200^{\circ}\text{C}$ pada masa pembentukannya (Reyes, 2000).

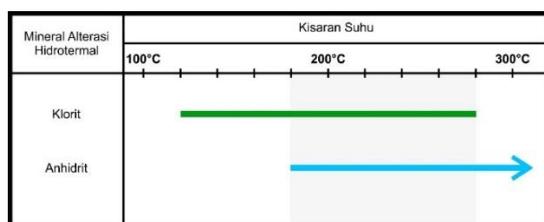
Tabel 4.2 Kisaran temperatur zona alterasi klorit-smektit

Mineral Alterasi Hidrotermal	Kisaran Suhu		
	100°C	200°C	300°C
Klorit	—————		
Smektit	← ————		

b. Zona Klorit-Anhidrit

Zona ini didominasi oleh kehadiran mineral klorit dan anhidrit. Ditemukan pula mineral – mineral primer seperti kuarsa, plagioklas dan piroksen serta kuarsa sekunder dengan persentase yang tidak banyak. Zona ini memiliki intensitas mineral lempung yang lebih sedikit dari zona sebelumnya dan diperkirakan terjadi penurunan intensitas mineral lempung serta diinterpretasikan zona ini sebagai zona peralihan/transisi pada sistem panasbumi dengan kedalaman ±816 – 1605 mKU. Berdasarkan pembagian zona alterasi, zona ini termasuk kedalam zona filik (Corbett dan Leach, 1997), sedangkan zona ini memiliki temperatur 180-280°C pada masa pembentukannya (Reyes, 2000).

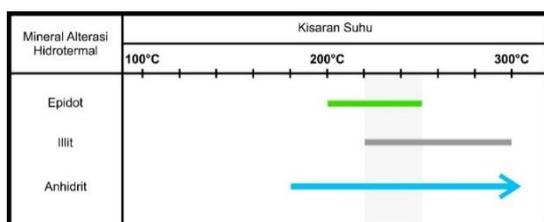
Tabel 4.3 Kisaran temperatur zona klorit-anhidrit



c. Zona Epidot-Illit-Anhidrit

Zona ini didominasi oleh kehadiran mineral epidot, illit, anhidrit, kalsit, dan kuarsa sekunder. Zona ini diinterpretasikan zona ini sebagai zona reservoir karena ditemukannya epidot pertama (*first epidote*) yang menjadi penciri zona reservoir pada sistem panasbumi dengan kedalaman ±1605mKU kebawah. Berdasarkan pembagian zona alterasi, zona ini termasuk kedalam zona propilitik (Corbett dan Leach, 1997) sedangkan zona ini memiliki temperatur 220-250°C pada masa pembentukannya (Reyes, 2000).

Tabel 4.4 Kisaran temperatur zona epidot-illit-anhidrit



4.5 Analisis Data Magnetotellurik

Berdasarkan penampang lintasan NW-SE diketahui bahwa adanya lapisan yang memiliki nilai resistivitas rendah (<10 Ωm) yang diwakili oleh gradasi warna merah – jingga, nilai resistivitas rendah ini merupakan respon dari litologi tuf litik terubahkan dengan zona alterasi Klorit-Smektit yang berada pada kedalaman 750 mdpl hingga -10 mdpl pada bagian tenggara penampang dan semakin dalam hingga kedalaman -1250 mdpl pada bagian barat laut penampang NW-SE ini.

Pada bagian bawahnya terdapat nilai resistivitas sedang yang mempunyai nilai sekitar 23,3 – 44,3 Ωm dan diwakili oleh gradasi warna hijau – biru muda, nilai resistivitas sedang ini merupakan respon dari litologi tuf litik terubahkan dengan zona alterasi Klorit-Anhidrit dimana nilai resistivitas yang lebih tinggi ini berada pada kedalaman -25 mdpl hingga -900 mdpl pada bagian tenggara penampang dan semakin kearah barat laut memiliki kedalaman yang semakin dalam pada nilai resistivitas sedang di penampang NW-SE ini.

Dibawah dari lapisan yang mempunyai nilai resistivitas yang 23,3 – 44,3 Ωm terdapat lapisan yang memiliki nilai resistivitas tinggi yaitu 44,3 – 115,7 Ωm yang merupakan respon dari litologi batuan beku andesit terubahkan dengan zona alterasi Epidot-Illit-Anhidrit pada kedalaman >-800 mdpl pada bagian tenggara penampang NW-SE dan dan semakin kearah utara memiliki kedalaman yang semakin dalam pada nilai resistivitas tinggi ini dan diwakili oleh gradasi warna biru – biru tua.

Pada penampang NW-SE ini diperkirakan pada lapisan batuan penudung (*claycap*) berada pada lapisan yang mempunyai nilai resistivitas rendah (<10 Ωm) (Rahardjo, 2012) dengan litologi tuf litik terubahkan dengan zona alterasi Klorit-Smektit dengan kedalaman 750 mdpl hingga -10 mdpl dimana batas lapisan konduktif/*Base of Conductor* berada dibawah lapisan yang diduga batuan penudung (*claycap*), lapisan transisi mempunyai nilai resistivitas 23,3 – 44,3 Ωm dengan litologi berupa tuf litik terubahkan dengan zona alterasi Klorit-Anhidrit dan lapisan reservoir yang mempunyai litologi batuan beku andesit terubahkan dengan zona alterasi Epidot-Illit-Anhidrit berada pada lapisan yang mempunyai nilai resistivitas tinggi (44,3 – 115,7 Ωm) (Lihat Gambar 4.12).

4.6 Sistem Panasbumi

Zona panasbumi pada sumur ML-1, ML-2 dan ML-3 terbagi atas : zona penudung sebagai zona impermeabel dengan kandungan mineral lempung yang tinggi dan nilai resistivitas yang rendah berada pada kedalaman ±40 mKU hingga ±816 mKU

dengan menebal diarah tengah daerah penelitian yang mencangkup zona alterasi Klorit-Smektit, zona transisi sebagai zona peralihan dari lapisan impermeabel menuju lapisan permeabel berada pada kedalaman ± 816 mKU hingga ± 1431 mKU dengan arah semakin dalam kearah barat laut yang mencangkup zona alterasi Klorit-Anhidrit dan zona reservoir sebagai zona permeabel yang menyimpan fluida panasbumi berada pada kedalaman lebih dari ± 1431 mKU dengan arah semakin dalam kearah barat laut yang mencangkup zona alterasi Epidot-Illit-Anhidrit (Lihat Gambar 13).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan data petrologi, petrografi dan analisis magnetotellurik, sistem panasbumi pada sumur ML-1, ML-2 dan ML-3 terbagi atas tiga zona, yaitu zona penudung sebagai zona impermeabel dengan kandungan mineral lempung yang tinggi dan nilai resistivitas yang rendah berada pada kedalaman ± 40 mKU hingga ± 816 mKU dengan menebal diarah tengah daerah penelitian yang mencangkup zona alterasi Klorit-Smektit, zona transisi sebagai zona peralihan dari lapisan impermeabel menuju lapisan permeabel berada pada kedalaman ± 816 mKU hingga ± 1431 mKU dengan arah semakin dalam kearah barat laut yang mencangkup zona alterasi Klorit-Anhidrit dan zona reservoir sebagai zona permeabel yang menyimpan fluida panasbumi berada pada kedalaman lebih dari ± 1431 mKU dengan arah semakin dalam kearah barat laut yang mencangkup zona alterasi Epidot-Illit-Anhidrit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada PT. KS Orka Rewenable Pte Ltd dan PT. Sorik Marapi Geothermal Energy (PT. SMGP) atas izin yang diberikan untuk penggunaan data.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, E., Crosby, D., Ussher, G., 2000, *Simple Resistivity Imaging to Reliably Locate the Geothermal Reservoir*, Proceedings: World Geothermal Congress, Kyushu.

Browne, R.P.L., 1991. *Hydrothermal Alteration and Geothermal System*, The University of Aucland, New Zealand

- _____. 1989. *Contrasting Alteration Styles of Andesitic and Rhyolitic Rocks in Geothermal Fields of the Taupo Volcanic Zone*. Proceedings 11th New Zealand Geothermal Workshop, New Zealand.
- _____. 1984. *Hydrothermal Alteration Lecture Notes*, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand
- _____. 1978: *Hydrothermal alteration in active geothermal fields*. Annual Review Earth and Planetary Sciences 6, 229–250.
- Corbett, G. J. dan Leach, T. M., 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*, Short Course Manual.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian region*. USGS Professional Paper, 1078.
- Hochstein, M.P., & Browne P.R.L., 2000, *Surface Manifestation System with Volcanic Heat Sources*. Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, p 835-853.
- Hochstein, M. P., & Caldwell, T. G. 1985. *Heat source characteristics of some warm and hot spring systems in China*. Auckland: Auckland University.
- Morrison, K., 1997, *Important Hydrothermal Minerals and Their Significance*, Mineral Services, Seventh Edition.
- NMS, Rock, dkk, 1983, *Peta Geologi Lembar Lubuk Sikaping, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Rahardjo, I. B., 2012, *Geophysical Signatures of Volcano Hosted Geothermal Systems*, Dissertation, Department of Geology and Geophysics, University of Utah, Utah.
- Reyes, Agnes. 2000. *Petrology and Mineral Alteration in Hydrothermal Systems: From Diagenesis to Volcanic Catastrophes*. United Nations University: Reykjavik.

Tabel 4.1. Log Alterasi Sumur ML-1, ML-2 dan ML-3

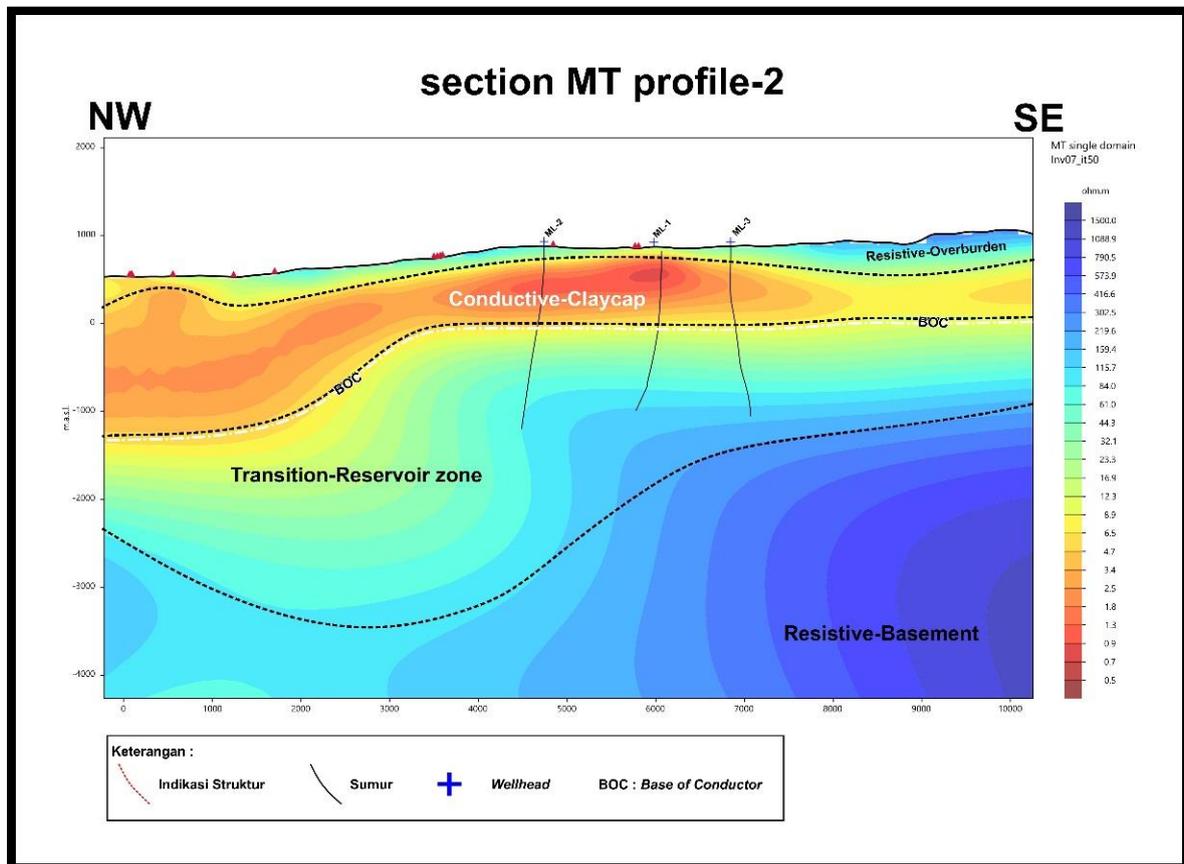
Sumur	Kedalaman	Litologi	Mineral Alterasi Hidrotermal										Intensitas Alterasi 25% 50% 75%	Zona Alterasi			
			Q	Ep	Chl	Ser	Cal	Sm	Anh	Ad	I	IO			Py		
ML-1	357mKU				◇			△									Zona Klorit-Smektit
	816mKU		△		◇				△								Zona Klorit-Anhidrit
	1605mKU		△	◇			△		△		△		◇				Zona Epidot-Illit-Anhidrit
	2190mKU			◇					△		△		◇				
ML-2	579mKU				◇			△								Zona Klorit-Smektit	
	1687mKU		△	◇	△		◇		△	△	△		◇				Zona Epidot-Illit-Anhidrit
	2191mKU		△	◇		△	△		△		△	◇	○				
ML-3	708mKU		△		◇											Zona Klorit-Anhidrit	
	1431mKU		△	◇					△	△	◇	△	◇				Zona Epidot-Illit-Anhidrit
	1944mKU			△		△	△				△		◇				

Keterangan :

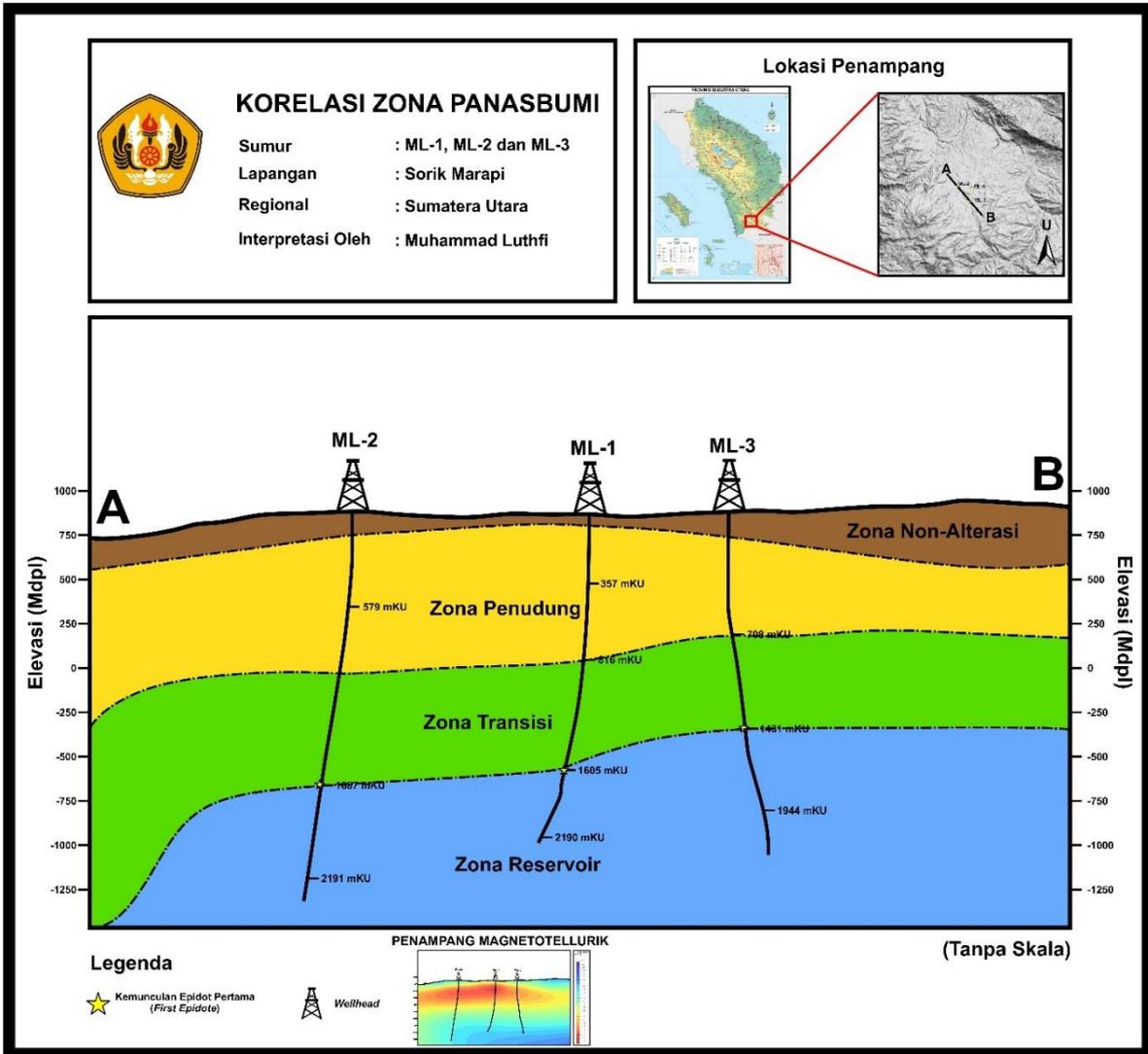
Litologi
 Tuf Litik Terubah
 Andesit Terubah

Mineral Alterasi Hidrotermal
Q=Kuarsa, **Ep**=Epidot, **Chl**=Klorit, **Ser**=Serisit, **Cal**=Kalsit, **Anh**=Anhidrit, **I**=illit, **Ad**=Adularia, **IO**=Oksida Besi, **Py**=Pirit, **Sm**=Smektit
 (Kode Mineral Mengacu pada Morrison,1997)

Kelimpahan Mineral
 △ Jarang (0-25%)
 ◇ Umum (26-50%)
 ○ Melimpah (>50%)



Gambar 4.12. Model Penampang Nilai Resistivitas pada Lintasan NW-SE



Gambar 4.13. Model Konseptual Sistem Panasbumi pada Sumur ML-1, ML-2 dan ML-3