



KARAKTERISTIK ALTERASI HIDROTERMAL DI DAERAH PANASBUMI SORIK MARAPI, KABUPATEN MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

Khairul Fajri¹, Mega Fatimah Rosana¹, Agus Didit Haryanto¹, Iwan Setiawan² dan Ryan Hidayat³

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,

² Geoteknologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,

³ KS Orka Renewables Pte Ltd.

e-mail : Khairul16002@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Daerah penelitian berada di daerah panasbumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bagaimana keadaan litologi, karakteristik alterasi hydrothermal yang berkembang di daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis petrografi dengan objek berupa serbuk bor (*cutting*) dari tiga sumur. Hasil penelitian dapat membedakan litologi daerah penelitian terdiri atas tuf litik dan andesit yang telah terubahkan. Tuf litik terubahkan merupakan litologi yang mendominasi pada daerah penelitian yang di temukan pada setiap sumur. Tipe alterasi yang berkembang terdiri atas empat zona, yaitu (1) zona Clay, (2) zona Serisit – Klorit, (3) zona Klorit – Epidot, dan (4) zona Epidot – Klorit. Pada sumur KH-2 litologi yang ditemukan pada setiap kedalaman adalah tuf yang telah terubahkan dengan warna batuan bewarna lebih gelap (hitam keabu-abuan) dari sumur yang lain. Kehadiran biotit sekunder pada sumur KH-3 kedalaman 2244 mKU mencirikan daerah ini memiliki suhu pembentukan yang tinggi.

Kata kunci: Alterasi hidrotermal, andesit, panasbumi, serbuk bor, tuf litik

ABSTRACT

The research area located in geothermal field of Sorik Marapi, Mandailing Natal Regency, North Sumatra. This study aims to identify how the lithological condition, the characteristics of hydrothermal alteration that develops in the study area. The research method used was petrographic analysis with the object in the form of drill cuttings from three wells. The result indicate that lithology of the research area consists of altered lytic tuffs and andesite. The altered lithic tuff is the dominant lithology in the study area which is found in every well. The type of alteration that develops consists of four zones, namely (1) Clay zone, (2) Sericite - Chlorite zone, (3) Chlorite - Epidote zone, and (4) Epidote - Chlorite zone. In the KH-2 well, the lithology found at every depth is tuff which has been changed with a darker colored rock color (grayish black) than the other wells. The presence of secondary biotite in the KH-3 well with a depth of 2244 mKU indicates that this area has a high formation temperature.

Keywords: Hydrothermal alteration, andesite, geothermal, cutting, Lithic tuff

PENDAHULUAN

Pulau Sumatera merupakan bagian dari rangkaian busur vulkanik yang membentang dari pulau Sumatera hingga ke Busur Banda, dengan banyak daerah panasbumi sekitar 101 Daerah dengan potensi sekitar 9.679 MW (Anonim, 2019). Salah satu lokasi daerah panasbumi yang dikembangkan di Pulau Sumatera yaitu daerah “Panasbumi Sorik Marapi” Sumatera Utara, yang selanjutnya menjadi lokasi studi penulis. Keberadaan sumberdaya panasbumi di daerah penelitian dicirikan dengan kemunculan manifestasi panasbumi di sepanjang zona sesar Semangko. Manifestasi panasbumi yang di temukan berupa mata air panas, solfatara, travertin, dan fumarol (Sagala, 2016).

Istilah panasbumi (*geothermal*) menunjuk pada sistem-sistem dimana terdapat konsentrasi yang cukup dari panas di dalam Bumi untuk membentuk suatu sumber energi (Rybach, 1981). Selain itu, Leibowitz (1978) dalam Chilingar (1982) menyatakan definisi energi panasbumi sebagai panas alami yang terjebak cukup dekat di permukaan yang dapat diekstrak secara ekonomis. Kemampuan sumberdaya energi panasbumi untuk diekstrak agar bernilai ekonomis berkaitan dengan kehadiran komponen panasbumi yang terdiri dari sumber panas, batuan reservoir, asal fluida panasbumi, struktur permeabilitas, batuan penudung dan manifestasi panas.

Alterasi hidrotermal merupakan proses kompleks yang meliputi perubahan mineralogi, kimia, dan tekstural pada batuan sebagai hasil dari interaksi larutan hidrotermal dengan batuan di mana fluida tersebut bersirkulasi dan terjadi dalam kondisi psikokimia (Pirajno, 2009). Banyak faktor yang mempengaruhi alterasi mineral pada sistem hidrotermal Browne (1978)

dalam Corbett & Leach (1997) mengelompokannya menjadi tujuh kategori utama: (1) Temperatur, (2) Komposisi kimia fluida, (3) Konsentrasi, (4) Komposisi host rock, (5) Reaksi kinetik, (6) Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan, dan (7) Permeabilitas.

Daerah penelitian secara administratif berada di Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatra Utara. Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi bagaimana keadaan litologi, karakteristik alterasi hidrotermal yang berkembang di daerah penelitian, dan juga pengaruhnya untuk sistem panasbumi.

METODE PENELITIAN

Objek yang diamati pada penelitian ini adalah serbuk bor (*cutting*) yang berasal dari sumur KH-1, KH-2, dan KH-3 dari PT. Sorik Marapi Geothermal Power. Data serbuk bor digunakan untuk mengetahui kehadiran mineral – mineral baik secara megaskopis maupun mikroskopis.

Analisis Petrografi

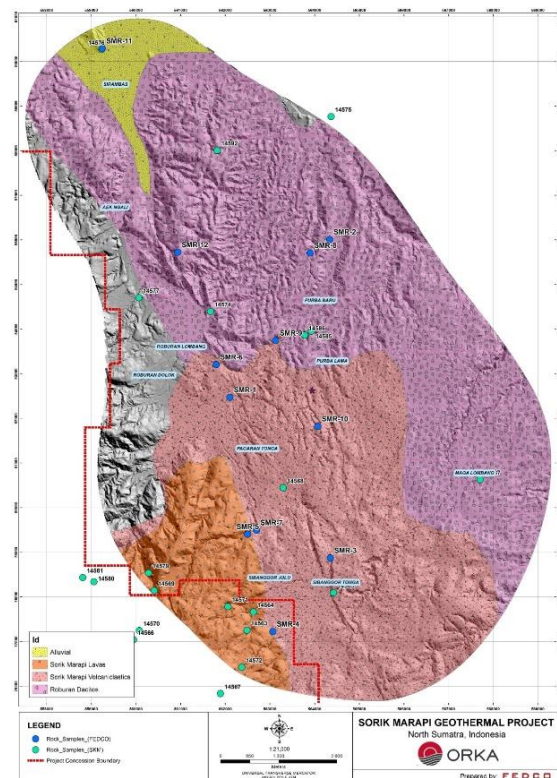
Metode ini dilakukan untuk mengetahui komposisi mineralogi dan tekstur dari sampel batuan sampling. Dalam analisis ini digunakan data yang didapat dari serbuk bor (*Cutting*), yang di preparasi menjadi sayatan tipis batuan. Jumlah sampel yang digunakan dalam analisis ini, terdiri dari 10 sampel batuan sampling dari tiga sumur. Sampel batuan ini selanjutnya dilakukan penentuan kelimpahan mineral pada tiap sampel dengan metode perbandingan visual pada 4 medan pandang dengan pendekatan kuantitatif, dan kemudian mengestimasi presentase material penyusun batuan tersebut.

GEOLOGI

Gunungapi Sorik Marapi merupakan gunungapi aktif kawah (*Stratovolcano*)

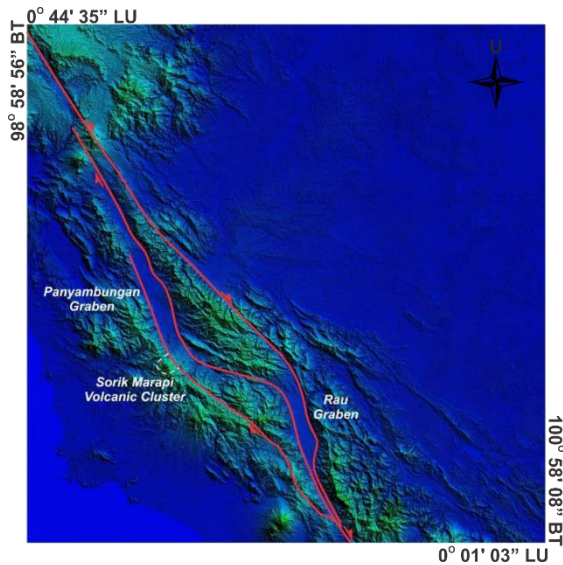
danau tipe-A dengan ketinggian 2145 mdpl dimana pada area penelitian ini termasuk pada zona graben yang memiliki arah baratlaut – tenggara yang terlihat di wilayah Panyambungan (graben Panyambungan), Rao (graben Rao) dan Lubuk Sikaping (Graben Sumpur) yang merupakan bagian dari sesar Sumatera (Rock dkk, 1983).

Unit stratigrafi daerah penelitian ini dibagi menjadi empat (4) formasi, dari yang tertua hingga termuda adalah: (1) Batuan dasar, (2) Dasit Roburan, (3) Batuan Vulkanik Sorik Marapi, dan (4) Alluvium (Gambar 1, SKM, 2011). Batuan dasar terdiri dari metasedimen Mesozoikum hingga Paleozoikum (*shale* dan batugamping), yang mungkin terintrusi oleh batuan plutonik (granodiorit dan kuarsa diorit). *Overlying* metamorfik batuan dasar adalah Dasit Roburan. Distribusi unit ini di daerah studi, meluas dari Sirambas ke Maga Lombang. Asosiasi batuan didominasi oleh dasitik sampai riolitik dengan tekstur apung dan berpori. Batuan Vulkanik Sorik Marapi didominasi komposisi andesitik dengan sedikit kehadiran batuan basaltik. Bagian depan lava gunungapi diakhiri di sepanjang Sesar Marapi berarah Barat Laut dan endapan piroklastik / vulkaniklastik tetap ada dan secara bertahap menipis ke timur dari struktur ini. Formasi termuda adalah Kuartar Alluvium yang meliputi endapan – endapan aluvial dan lereng yang mengisi lembah, graben dan daerah dataran rendah yang terdiri dari sedimen lepas dan terfragmentasi yang berasal dari unit batuan yang lebih tua.



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian (Laporan Internal Orka dalam SKM, 2011)

Struktur geologi yang terdapat di daerah ini adalah Sesar Normal Longat, Sesar Normal Sirambas, Sesar Normal Batang Gadis, dan Sesar Normal Panyambungan. Sesar Normal Longat dan Sesar Normal Sirambas diperkirakan merupakan dua buah struktur yang mengontrol kemunculan mataair panas di permukaan. Akibat pergerakan sistem zona struktur ini, di beberapa tempat terjadi depresi – depresi (graben) terutama pada perpotongan *en-echelon*, akibat dari komponen gaya – gaya yang bersifat tarikan (*extension*) dalam sistem sesar ini. Daerah panasbumi Sorik Marapi adalah salah satu daerah yang berada dalam zona depresi ini. Beberapa sesar normal menjadi media keluarnya magma ke permukaan dan membentuk Gunung Sorik Marapi (Gambar 2).



Gambar 2. Struktur regional *dupleks transtensional* Lubuksikaping (Putra dan Sidqi, 2017)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi Bawah Permukaan

Berdasarkan hasil pengamatan megaskopis dan mikroskopik dari sampel serbuk bor, litologi pada sumur KH-1 tersusun atas tuf litik terubahkan (432 mKU dan 873 mKU) dengan tingkat alterasi sedang (60 – 75%) serta andesit (1725 mKU) dengan intensitas alterasi sedang (45%). Pada sumur KH-2 tersusun atas litologi tuf litik terubahkan (550 mKU, 1192 mKU, dan 2005 mKU) dengan intensitas alterasi kuat (80 – 90%). Sedangkan pada sumur KH-3 tersusun atas litologi tuf litik terubahkan (456 mKU dan 1152 mKU) dengan intensitas alterasi sedang (60 – 65%) dan andesit (2025 mKU dan 2244 mKU) dengan intensitas alterasi sedang – kuat (73 – 85%) (Tabel 5).

Mineralogi Alterasi Hidrotermal

Berdasarkan kombinasi antara hasil analisis megaskopis dan petrografi dengan mikroskop polarisasi, maka dapat diidentifikasi berbagai jenis mineral ubahannya terdiri atas:

Epidot



Keterdapatan mineral ini dijumpai di sumur KH-1 kedalaman 873 mKU dan 1725 mKU, sumur KH-2 kedalaman 2005 mKU; dan sumur KH-3 pada semua kedalaman. Epidot hadir menggantikan mineral piroksen.

Klorit



Klorit yang dapat dijumpai di sumur KH-1 (873 mKU dan 1725 mKU), sumur KH-2 (1192 mKU dan 2005 mKU), sumur KH-3 (1152 mKU, 2025 mKU, dan 2244 mKU). Klorit hadir menggubah plagioklas dan kalsit, dan juga hadir sebagai veinlet.

Kuarsa (SiO_2)

Kuarsa terbentuk dalam rongga - rongga (seperti pengisi retakan, rongga dalam batuan) atau sebagai penggantian pada batuan. Kuarsa dapat ditemukan pada sumur KH-2 (kedalaman 1192 mKU dan 2005 mKU) dan sumur KH-3 (kedalaman 1152 mKU dan 2025 mKU).

Serisit $\{(\text{K}, \text{Na})\text{Al}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2\}$

Mineral ini hadir menggubah mineral plagioklas dan dapat ditemukan pada sumur KH-1 di kedalaman 1725 mKU dan pada sumur KH-3 di kedalaman 1152 mKU dan 2025 mKU.

Adularia (KAlSi_3O_8)

Keberadaan adularia dapat terbentuk sebagai hasil pendidihan dan eksolusi CO_2 yang meningkatkan pH larutan. Adularia bersama dengan kuarsa mengganti mineral host rock (umumnya plagioklas) di sepanjang batas urat, patahan, dan pada batuan permeabel. Oleh karena itu, kehadiran adularia dapat menjadi indikasi zona permeabilitas tinggi dan kemungkinan berasosiasi juga dengan zona boiling. Adularia ditemukan pada sumur KH-3 pada kedalaman 2244 mKU.

Anhidrit (CaSO_4)

Anhidrit ditemukan pada sumur KH-3 di kedalaman 22025 mKU, dan 2244 mKU. Pada lingkungan bertemperatur tinggi ($>300^\circ\text{C}$) anhidrit mengendap pada saat pendinginan fluida hidrotermal. Anhidrit hadir menggantikan sebagian mineral plagioklas dan kalsit.

Kalsit (CaCO_3)

Kalsit biasanya berasosiasi dengan illit dan kuarsa. Pada daerah penelitian kalsit ditemukan pada sumur KH-1 (432 mKU dan 873 mKU), sumur KH-2 (pada semua kedalaman), serta pada sumur KH-3 (2025 mKU) dengan kehadiran yang cukup melimpah.

Biotit



Pada daerah penelitian biotit ditemukan pada sumur KH-3 di kedalaman 2244 mKU, yang mencirikan suhu tinggi.

Pirit (FeS_2)

Pirit merupakan mineral sulfida yang umum ditemukan dalam lingkungan hidrotermal. Pirit dapat terbentuk dalam beragam kondisi. Pada daerah penelitian pirit ditemukan pada sumur KH-1 (432 mKU dan 873 mKU), sumur KH-2 (2005 mKU), dan sumur KH-3 (456 mKU dan 1152 mKU).

Mineral lempung

Mineral lempung hampir di semua sumur ditemukan. 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 hadir termasuk jenis mineral lempung smektit dan illit.

Mineral oksida

Mineral oksida ditemukan pada sumur KH-1 di kedalaman 1725 mKU dan sumur KH-2 di kedalaman 550 mKU, 1192 mKU, dan

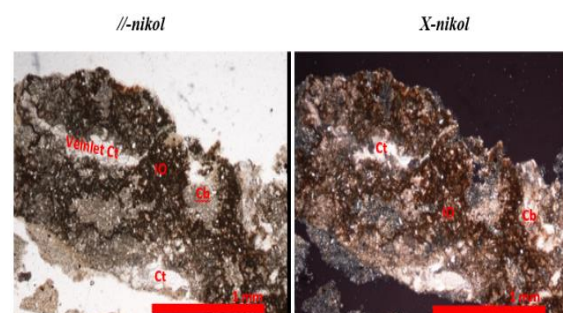
2005 mKU. Mineral oksida yang hadir di daerah penelitian diperkirakan adalah hematit. Hematit (Fe_2O_3) merupakan mineral ubahan umum yang berkaitan dengan intrusi fluida. Mineral ini umumnya ditemukan pada zona alterasi serisitik atau sekitar zona propilitik.

Zona dan Style Alterasi Hidrotermal

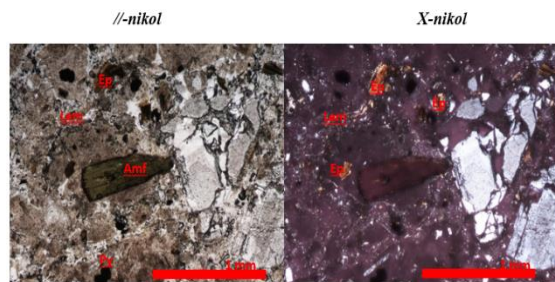
Berdasarkan asosiasi kehadiran mineral sekunder, alterasi hidrotermal yang berkembang pada daerah penelitian dibedakan menjadi:

a. Zona Clay

Zona ini ditemukan pada sumur KH-1 (432 mKU dan 873 mKU), KH-2 (550 mKU dan 1192 mKU), dan KH-3 (456 mKU) dengan litologi tuf litik. Mineral lempung dengan kelimpahan 21-30%, kalsit dengan kelimpahan 11-20%, sehingga zona ini diperkirakan sebagai zona tudung (*caprock*) pada sistem panasbumi (Gambar 3-4). Kehadiran klorit, epidot, mineral oksida dan pirit dengan intensitas yang kurang melimpah ($\leq 10\%$), mineral oksida besi diinterpretasikan sebagai hasil dari proses oksidasi dari pirit. Kehadiran epidot pada kedalaman 456 mKU – 1192 mKU di daerah penelitian diinterpretasikan sebagai indikasi permulaan reservoir. Zonasi ini termasuk kedalam zona argilik (Corbet and Leach, 1997), dengan temperatur pembentukan $180^\circ - 260^\circ\text{C}$ dan pH Netral (Tabel 1).



Gambar 3. Foto sayatan tipis sumur KH-2 (550 mKU) yang menunjukkan asosiasi Zona Clay.



Gambar 4. Foto sayatan tipis sumur KH-3 (456 mKU) yang menunjukkan kemunculan pertama epidot.

Tabel 1. Kisaran Temperatur Zona Clay (Hadenquist dkk, 1995).

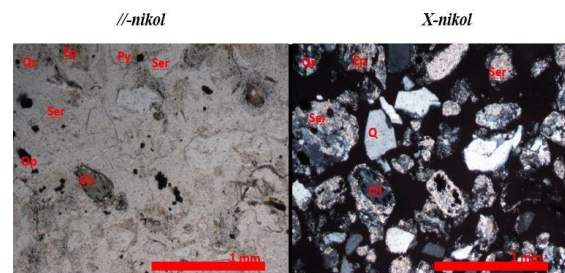
Mineral	Temperatur °C			Kelimpahan
	100	200	300	
Clay				□
Kalsit				○
Klorit				○
Epidot				○
Pirit				○
Mineral Oksida				○

Kelimpahan Mineral

- Kurang melimpah < 10 %
- △ Cukup melimpah 11 - 20 %
- Melimpah 21 - 30 %
- ◇ Sangat melimpah > 30 %

b. Zona Serisit ± Klorit

Zona ini ditemukan pada sumur KH-3 (1152 mKU) dengan litologi tuf litik. Mineral sekunder yang ditemukan adalah serisit dengan intensitas 21-30%, kuarsa 11-20%, epidot dengan intensitas $\leq 10\%$ (Gambar 5). Serisit dapat terbentuk dalam sistem hidrotermal yang bercampur dengan air yang terpanaskan oleh sumber panas dari bawah. Pada umumnya, air tersebut bersifat netral hingga sedikit asam atau berupa air alkali – klorit (Heald dkk, 1987 dalam Syafrizal dkk, 2007). Zona ini diinterpretasikan sebagai zona reservoir pada sistem panasbumi. zonasi ini termasuk kedalam zona propilitik (Corbet and Leach, 1997), temperatur sekitar 200°C – 300°C dan pH Netral (Tabel 2).



Gambar 5. Foto sayatan tipis sumur KH-3 (1152 mKU) yang menunjukkan asosiasi Zona Serisit ± Klorit.

Tabel 2. Kisaran Temperatur Zona Serisit ± Klorit (Hadenquist dkk, 1995).

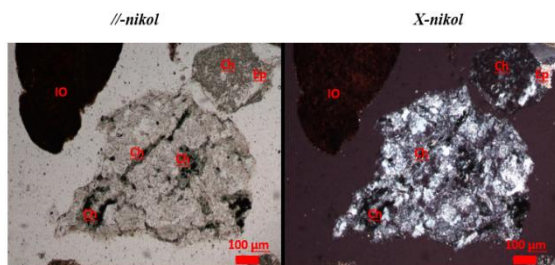
Mineral	Temperatur °C			Kelimpahan
	100	200	300	
Serisit				□
Kuarsa				△
Klorit				○
Epidot				○
Pirit				○

Kelimpahan Mineral

- Kurang melimpah < 10 %
- △ Cukup melimpah 11 - 20 %
- Melimpah 21 - 30 %
- ◇ Sangat melimpah > 30 %

c. Zona Klorit – Epidot

Zona ini ditemukan pada sumur KH-2 (2005 mKU) dengan litologi andesit. Mineral sekunder yang ditemukan adalah mineral kalsit dengan intensitas 21-30%, kuarsa, klorit, dan mineral oksida dengan intensitas 11-20%, selain itu ditemukan juga epidot, pirit, dan mineral lempung dengan intensitas $\leq 10\%$ (Gambar 6). Kehadiran mineral oksida besi diinterpretasikan sebagai hasil dari proses oksidasi dari mineral pirit. Zona ini diinterpretasikan sebagai zona reservoir. Zonasi ini termasuk kedalam zona propilitik (Corbet and Leach, 1997), dengan temperatur sekitar 200°C – 320°C dan pH Netral (Tabel 3).



Gambar 6. Foto sayatan tipis sumur KH-2 (2005 mKU) yang menunjukkan asosiasi Zona Kalsit – Kuarsa – Klorit ± Epidot.

Tabel 3. Kisaran Temperatur Zona Klorit – Epidot (Hadenquist dkk, 1995).

Mineral	Temperatur °C			Kelimpahan
	100	200	300	
Clay				○
Kalsit				□
Kuarsa				△
Klorit				△
Epidot				○
Pirit				○
Mineral Oksida				△

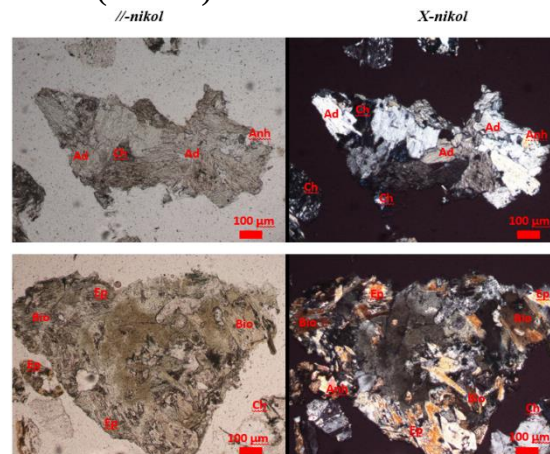
Kelimpahan Mineral

- Kurang melimpah < 10 %
- △ Cukup melimpah 11 - 20 %
- Melimpah 21 - 30 %
- ◇ Sangat melimpah > 30 %

d. Zona Epidot – Klorit

Zona ini ditemukan pada sumur KH-1 (1725 mKU) dan KH-3 (2025 mKU dan 2244 mKU). Mineral sekunder yang ditemukan adalah adularia dengan intensitas 21-30%, biotit sekunder, klorit, dan epidot dengan intensitas 11-20%. Selain itu juga ditemukan kalsit, anhidrit, dan serisit dengan intensitas kurang melimpah $\leq 10\%$ (Gambar 7). Kehadiran adularia dapat menjadi indikasi zona permeabilitas tinggi dan kemungkinan berasosiasi juga dengan zona *boiling*. Kehadiran mineral anhidrit pada sistem panasbumi mencirikan sistem yang di dominasi oleh kehadiran *steam dominated*. Selain itu juga kehadiran biotit sekunder mengindikasikan bahwa temperatur tinggi. Kehadiran serisit pada kedalaman 1725 mKU dan 2025 mKU menjadi batas antara zona seisit dengan zona epidot – klorit. Zonasi ini termasuk kedalam zona propilitik

(Corbet and Leach, 1997), dengan temperatur sekitar $260^{\circ} - 400^{\circ}\text{C}$ dan pH Netral (Tabel 4).



Gambar 7. Foto sayatan tipis sumur KH-3 (2244 mKU) yang menunjukkan asosiasi Zona Adularia – Epidot – Klorit – Biotit

Tabel 4. Kisaran Temperatur Zona Epidot – Klorit (Hadenquist dkk, 1995).

Mineral	Temperatur °C			Kelimpahan
	100	200	300	
Adularia				□
Anhidrit				○
Klorit				△
Epidot				△
Serisit				○
Kalsit				○
Biotit				△

Kelimpahan Mineral

- Kurang melimpah < 10 %
- △ Cukup melimpah 11 - 20 %
- Melimpah 21 - 30 %
- ◇ Sangat melimpah > 30 %

Penyebaran dan korelasi dari zona alterasi ini pada setiap sumur bor, dapat lihat pada gambar 8.

Sistem Panasbumi

Berdasarkan identifikasi jenis alterasi, penyebaran dan interpretasi suhunya, maka sistem panasbumi pada daerah penelitian dapat dibedakan dua zona, yaitu: (1) Zona Penudung sebagai zona *impermeabel* dengan kandungan mineral lempung yang tinggi berada hingga kedalaman ± 456 mKU hingga ± 1192 mKU dengan gambaran menipis (mendakal) kearah

selatan daerah penelitian, yang mencangkup zona Clay. (2) Zona Reservoir berperan sebagai zona permeabel yang menyimpan fluida panasbumi. Lapisan atas zona ini di tandai dengan kemunculan pertama kali mineral epidot yang muncul pada kedalaman $\pm$ 456 mKU (sumur KH-3), 873 mKU (sumur KH-1), dan 1192 mKU (sumur KH-2) dengan rekonstruksi semakin dalam kearah utara, dengan zona alterasi mencangkup zona Serisit $\pm$ Klorit, Klorit – Epidot, dan Epidot – Klorit. Penggambaran model konseptualnya dapat dilihat pada gambar 9.

KESIMPULAN

Litologi yang ada tersusun atas litik tuff terubahkan dan andesit terubahkan dengan zona alterasi yang berkembang ada empat yakni zona Clay, Serisit – Klorit, Klorit – Epidot, dan zona Epidot – Klorit. Kehadiran mineral adularia pada sumur KH-3 pada kedalaman 2244 mKU mengindikasikan zona ini sebagai zona yang memiliki permeabilas yang bagus dan juga berasosiasi dengan zona *boiling*, pada kedalaman ini juga di handir mineral biotit sekunder yang menandai suhu pembentukan yang tinggi, serta fluida yang bersikulasi cenderung bersifat netral. Secara konsep, maka sistim panasbuminya di bedakan atas zona tudung yang didominasi oleh mineral lempung dan zona reservoir yang didominasi oleh klorit epidot.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Sorik Marapi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di lapangan Sorik Marapi dan kepada Goeteknologi LIPI yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. *Laporan Internal Orka*; SKM (2011).
- Anonim. 2019. *Current Geothermal Landscape and Government Objective for Future Development*. Laporan Badan Geologi ESDM.
- Browne, P. R. L. 1978. *Hydrothermal alteration in active geothermal fields*. Annual review of 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.
- Edwards, L. M., Chilingar, G. V., Rieke Iii, H. H., & Fertl, W. H. 1982. *Handbook of geothermal energy*.
- Heald, P., Foley, N. K., & Hayba, D. O. 1987. *Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types*. Economic geology, 82(1), 1-26.
- Leibowitz, L. P. 1978. *California's geothermal resource potential*. Energy Sources, 3(3-4), 293-311.
- Pirajno, F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, Australia.
- Putra, A. F., & Sidqi, M. 2017. *Contrasting Geology of Sumatra and Banda-Molucca Seas Geothermal Prospects: A Remote Sensing Approach*. In Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention and Exhibition (IIGCE).
- Rock, N. M. S. Dkk. 1983. *Peta Geologi Lembar Lubuk Sikaping, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Rybach, L., & Muffler, L. J. P. 1981. *Geothermal systems: principles and case histories*. Chichester, Sussex, England and New York, Wiley-Interscience, 1981. 371 p.
- Sagala, B. D., Chandra, V. R., & Purba, D. P. 2016. *Conceptual model of Sorik Marapi geothermal system based on 3-G data interpretation*. Proceedings of IIGCE 2016.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. 1995. *Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration*. SEG newsletter, 23(1), 9-13.

Tabel 5. Log Alterasi Semua Sumur.

Sumur	Kedalaman (mKU)	Litologi	Mineral Alterasi												Intensitas Alterasi 25% 50% 75% 100%	Zona Alterasi	
			Ad	Anh	Bio	Ch	Cl	Ct	Ep	IO	Py	Q	Ser	Cb		Himpunan Mineral	Corbett dan Leach (1997)
KH-1	432	Tuf Litik					□	□			○				60%	Clay	Argilik
	873	Tuf Litik				○	□	△	○		○				75%	Epidot ± Klorit	Propilitik
	1725	Andesit				○			△	○			○		45%		
KH-2	550	Tuf Litik					◇	△		△				○	90%	Clay	Argilik
	1192	Tuf Litik				○	□	○		△		△			80%	Klorit ± Epidot	Propilitik
	2005	Tuf Litik				△	○	□	○	△	○	△			84%		
KH-3	456	Tuf Litik					◇		○		○				65%	Clay	Argilik
	1152	Tuf Litik				○			○		○	△	□		60%	Serisit ± Klorit	Propilitik
	2025	Andesit		○		△		△	△			○	○		73%	Epidot - Klorit	
	2244	Andesit	□	○	△	△			△						85%		

Keterangan:

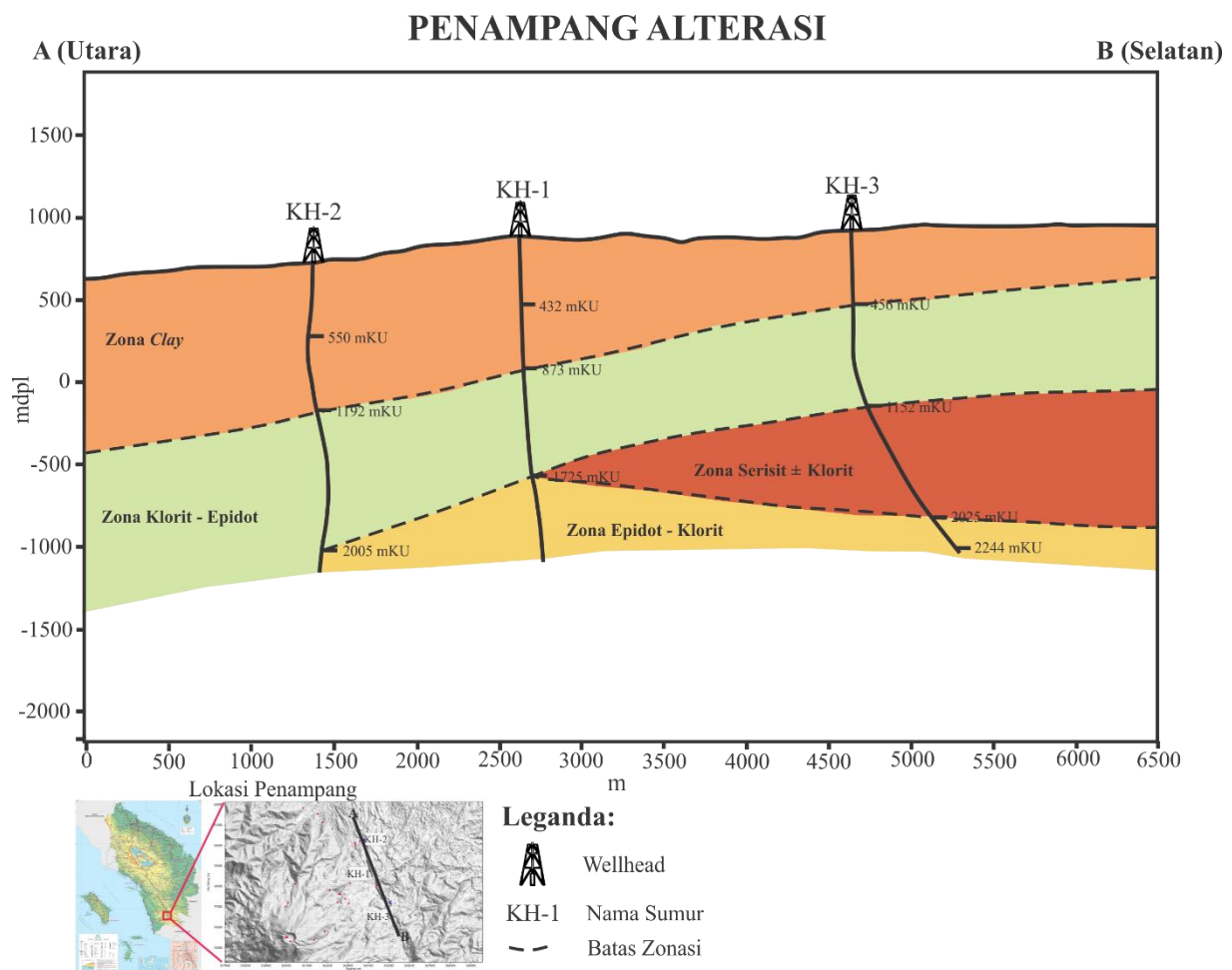
Litologi

	Tuf Litik terubah
	Andesit terubah

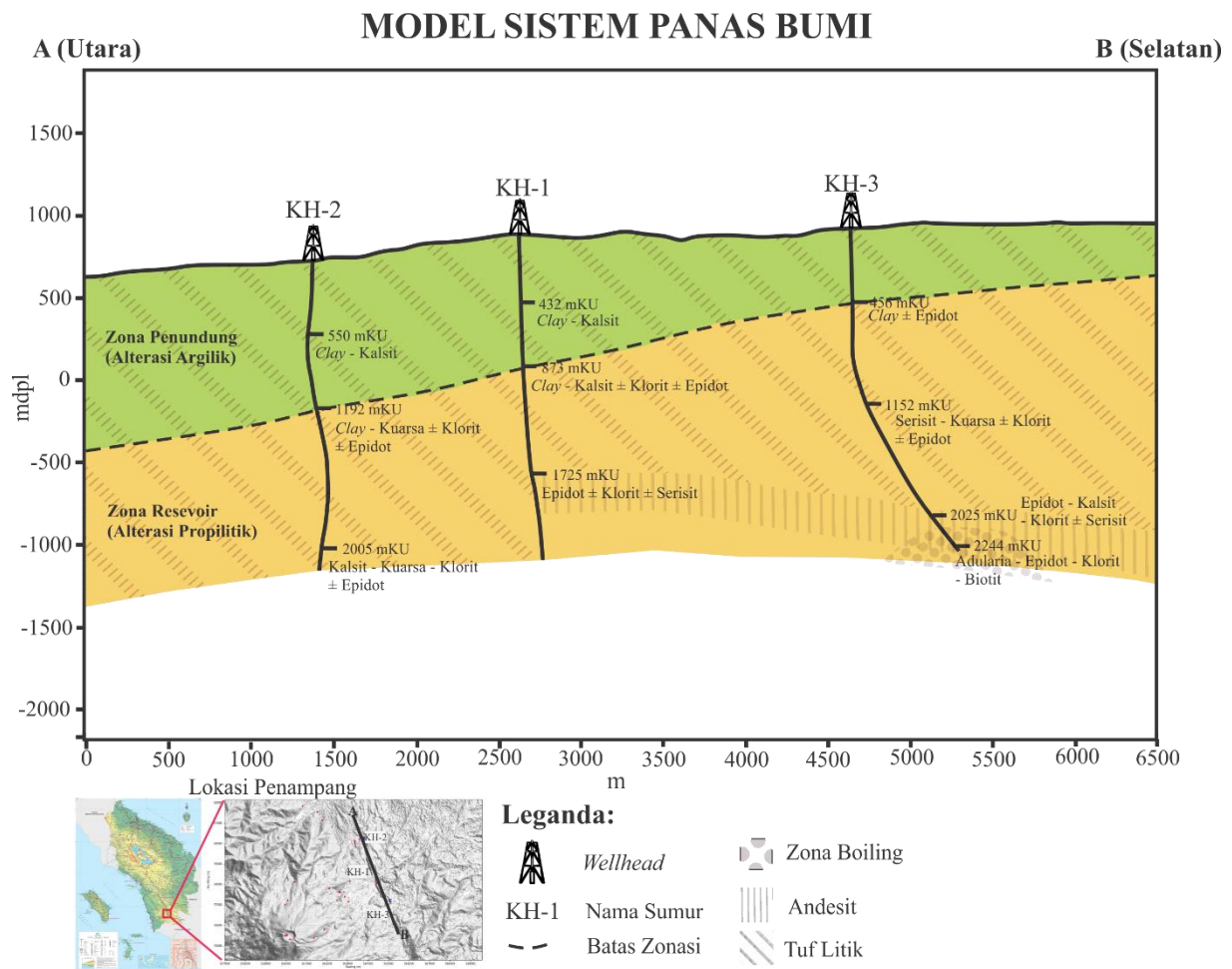
Ad (Adularia), **Anh** (Anhidrit), **Bio** (Biotit), **Ch** (Klorit), **Ct** (Kalsit), **Cl** (Clay), **Ep** (Epidot), **IO** (Mineral Oksida), **Py** (Pirit), **Q** (Kuarsa), **Ser** (Serisit), dan **Cb** (Karbonat)
(Kode mineral mengacu pada Morrison, 1997)

Kelimpahan Mineral

- Kurang melimpah ≤ 10 %
- △ Cukup melimpah 11 – 20 %
- Melimpah 21 – 30 %
- ◇ Sangat melimpah > 30 %



Gambar 8. Penampang Alterasi Daerah Penelitian.



Gambar 9. Model Konseptual Sistem Panasbumi pada Daerah Penelitian.