

ALTERASI HIDROTERMAL DAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN PADA SUMUR TB-03 LAPANGAN PANAS BUMI SMGP DAERAH SORIK MARAPI, KABUPATEN MANDAILING NATAL, SUMATERA UTARA

Tubagus Gleamen B.P.^{1*}, Agus Didit Haryanto¹, Aton Patonah¹, Haris Siagian²

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

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

*Korespondensi: gleamen16001@mail.unpad.ac.id

SARI

Lokasi daerah penelitian terletak di daerah Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi karakteristik alterasi hidrotermal dan temperatur dari sumur penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah petrologi dan XRD. Berdasarkan hasil penelitian, sumur TB-03 dari tua ke muda adalah litologi arenit kuarsa terubah, arenit litik terubah, lava andesit terubah, dan tuf litik terubah. Mineral alterasi yang hadir di daerah penelitian diantaranya mineral lempung, karbonat, kuarsa sekunder, serisit, klorit, epidot, anhidrit, dan oksida besi. Berdasarkan kumpulan mineral yang hadir, sumur dibagi menjadi beberapa zona diantaranya adalah zona smektit-klorit-kalsit dan zona illit-klorit-epidot. Korelasi dari data geotermometer dengan data temperatur terukur memperlihatkan bahwa terdapat selisih pada data temperatur yang terjadi akibat adanya injeksi pada zona reservoir sehingga temperatur terkini yang dilihat dari data landaian suhu lebih rendah. Zona reservoir pada sumur TB-03 pada kedalaman 1513-1780 mKU.

Kata Kunci: geotermometer, reservoir, zona alterasi

ABSTRACT

The research is located at Sorik Marapi, Mandailing Natal, North Sumatera. This study focused on identifying alteration characteristics and temperature from the research well. This study research applies petrology and XRD analysis. Based on the analysis, the lithology from older to younger in well TB-03 consists of altered quartz arenite, altered lithic arenite, altered andesite lava, and altered lithic tuff. There are alteration minerals that include clay minerals, carbonate, secondary quartz, sericite, chlorite, epidote, anhydrite, and iron oxide. The alteration mineral zones consist smectite-chlorite-calcite zone and illite-chlorite-epidote zone. The correlation between geothermometer temperature datas with measured temperature datas shows that in well TB-03 the temperature has a bit of difference because of injection processes in the reservoir zone which affect the recent temperatures that shown on the measured temperature data. The reservoir zone identified at well TB-03 in depth 1513-1780 mKU.

Keywords: geothermometer, reservoir, alteration zone

1. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang bebas dari emisi karbon (*clean energy*) yang dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Indonesia memiliki jumlah dan potensi cadangan panas bumi sebesar 25.300 MWe dan baru sekitar 1.948 MWe yang sudah dimanfaatkan sebagai energi listrik (ESDM, 2017). Daerah panas bumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara merupakan salah satu wilayah panas bumi vulkanik dengan potensi cadangan

panas bumi yang melimpah sebesar 240 MWe sehingga layak untuk dilakukan penyelidikan maupun penelitian rinci untuk pengembangan lapangan panas bumi daerah ini. Oleh karena itu, penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sistem panas bumi Sorik Marapi berdasarkan data-data bawah permukaan (*sub-surface*) yang meliputi petrografi mineral ubahan, XRD, dan data landaian suhu.

Secara administratif daerah penelitian termasuk kedalam wilayah Sibangor Utara, Kecamatan

Puncak Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing
Natal, Provinsi Sumatera Utara. (Gambar 1.1)

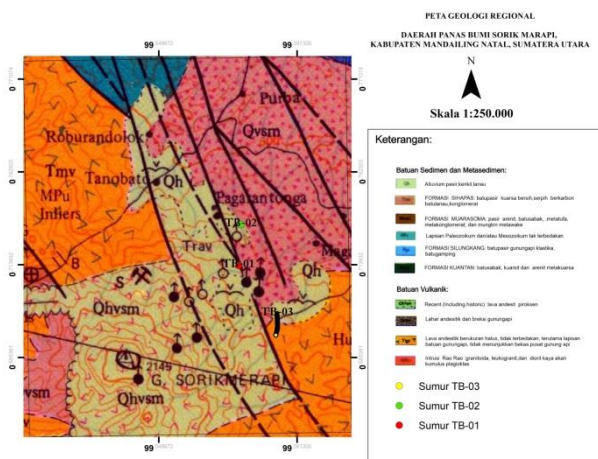


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (disederhanakan dari Van Bemmelen, 1949)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian terdiri dari 8 satuan, terbagi menjadi formasi-formasi batuan sedimen dan metasedimen serta formasi batuan vulkanik. Sebagian dari batuan vulkanik diperkirakan berasal dari dua titik erupsi yang waktunya berbeda, yaitu Gunung Sorik Marapi berkala Holosen dan Gunung Sorik Marapi berkala Pleistosen. Urutan stratigrafi formasi batuan sedimen dari tua ke muda adalah Formasi Kuantan (Puku), Formasi Silungkang (Pps), Lapisan Paleozoikum (MPs), Formasi Muarasoma (Mums), Formasi Sihapas (Tms), dan Aluvium (Qh). Untuk urutan stratigrafi batuan vulkanik dari tua ke muda diantaranya Intrusi Rao Rao (MPirr), Tuff (Tmv), Lahar Andesit dan Breksi Gunung Api (Qvsm), dan Lava Andesit (Qhvs).



Gambar 2.

Peta Geologi Regional daerah (tanpa skala) *modifikasi*
dari Peta Geologi Regional lembar Lubuksikaping
(Rock, N.M.S., 1983)

Daerah penelitian gunung Sorik Marapi terletak pada barat laut Panyabungan. Secara regional dan structural, daerah merupakan bagian dari sistem zona sesar Sumatera (*Sumateran Fault Zone*) dengan orientasi barat laut-tenggara yang terbentuk oleh subduksi antar lempeng Eurasia dengan lempeng Indo-Australia. Interaksi ini juga mengakibatkan terbentuknya beberapa zona kompresi dan zona regangan. Zona kompresi mengalami lipatan dan sesar naik, sementara zona regangan mengalami sesar normal dan depresi.

Lokasi penelitian pada gunungapi Sorik Marapi tepatnya pada prospek Sampuraga termasuk pada zona regangan tersebut yaitu pada zona graben dengan orientasi barat-laut-tenggara yang terlihat di wilayah Rao (Gaben Rao), wilayah Panyambungan (Gaben Panyambungan), serta Lubuk Sikaping (Gaben Sumpur) (NMS Rock dkk, 1983). Sesar normal Longat dan Sesar Normal Sirambas diperkirakan juga mengontrol kemunculan air panas di wilayah penelitian (SKM, 2011).

3. METODE

Penelitian dilakukan dengan menganalisis sampel yang berupa serbuk bor (*cutting*) sebanyak 4 sampel pada sumur TB-03. Penelitian ini juga didukung oleh data sekunder yang terdiri dari data pemboran dan pengukuran suhu tekanan (data PT) serta data *borehole geology log* masing-masing sumur. Semua sampel dan data sekunder tersebut diambil dari perusahaan KS Orka Renewables, Ltd. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap, yaitu analisis petrografi, analisis XRD, dan korelasi data PT dengan data geotermometer mineral.

Analisis petrografi dilakukan dengan Mengidentifikasi tekstur, struktur, komposisi mineral penyusun batuan, dan menentukan nama batuan. Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral lempung pada sampel yang diteliti. Analisis dilakukan dalam 2 tahap yaitu analisis *clay treatment* dan analisis *bulk powder*. Hasilnya adalah berupa grafik *peak* difraktogram yang diidentifikasi dengan menggunakan data oleh Chen (1977) dan identifikasi pola *peak* pada analisis mineral lempung (*air-dried* serta penambahan etilen glikol) mengacu kepada Moore dan Reynold (1989).

Tabel 1 Tabulasi pengambilan sampel data primer analisa petrografi dan XRD

Sampel	Kedalaman (mKU)	Analisis	
		Petrografi	XRD
TB-301	±409 - ± 412	✓	✓
TB-302	±661 - ± 663	✓	×
TB-303	±1513 - ± 1516	✓	×
TB-304	±1777 - ± 1780	✓	×

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Litologi Sumur TB-03

Litologi pada sumur ditentukan berdasarkan deskripsi megaskopis, deskripsi petrografi dari tiap sampel serbuk bor (*cutting*), dan juga data *borehole geology* dari perusahaan KS ORKA.

Pada gambar 3 digambarkan litologi pada sumur TB-03 dimulai dari muda ke tua dimulai dari kedalaman 43-130 mKU, litologinya terdiri dari endapan vulkanik kuartar yang berkomposisi tuff litik riolit dan lava andesit dan memiliki intensitas alterasi lemah. Litologi pada kedalaman 388-1438 mKU termasuk kedalam sedimen tersier yang terdiri dari litologi arenit kuarsa serta litik arenit dan memiliki intensitas alterasi lemah sampai sedang. Litologi pada kedalaman 1438-1800 mKU terdiri dari lava andesit berubah serta tuff litik berubah berkomposisi andesitik dengan intensitas alterasi kuat. Berdasarkan asosiasi litologi yang didapatkan pada sumur TB-03, dapat diinterpretasikan bahwa sumur TB-03 berada pada fasies distal dengan kehadiran litologi lava, tuff, serta batupasir (Bronto, 2013). Keterdapat perselingan litologi lava dengan tuff litik pada kedalaman dangkal kemungkinan berasal dari hasil letusan freatik gunung yang resen (SKM, 2011), endapan vulkanik tersebut menimbun sedimen tersier yang berada di bawahnya yang berasal dari formasi Tms (Licup Jr., A.C., et. al., 2017). Pada kedalaman >1438 mKU litologi dominan adalah lava andesitik dan tuff litik berkomposisi andesit yang berasal dari endapan vulkanik lampau (tersier) (SKM, 2011).

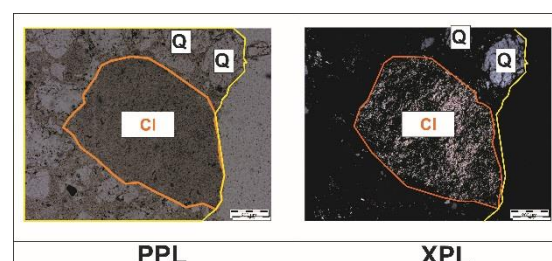
4.2 Mineral Alterasi Sumur TB-03

Mineral-mineral alterasi yang teridentifikasi pada sumur penelitian diantaranya adalah mineral lempung, kalsit, kuarsa sekunder, serisit, klorit, epidot, anhidrit, dan oksida besi. Kelimpahan mineral alterasi pada sumur dapat dilihat pada log litologi sumur TB-03 (gambar 4.1), berikut

merupakan uraian dari mineral-mineral sekunder yang teridentifikasi:

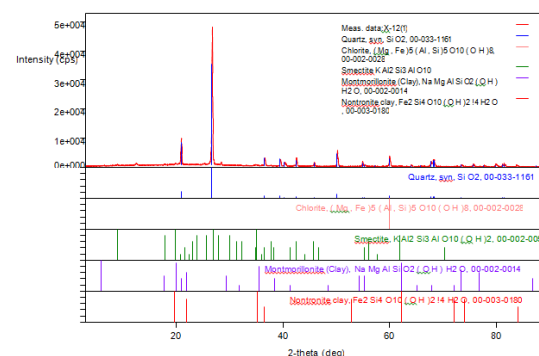
a. Mineral Lempung

Mineral lempung yang teridentifikasi berdasarkan analisis XRD dan petrografi pada sumur TB-03 merupakan mineral lempung jenis smektit dan illit. Mineral smektit ditemukan pada kedalaman 409-412 mKU. Mineral ini mempunyai karakteristik diantaranya berwarna coklat keruh, berserabut halus, mengubah plagioklas, kalsit, dan gelas vulkanik. Smektit hadir pada temperatur relatif rendah, yaitu sekitar <200°C (Reyes, 1990) serta stabil dalam pH mendekati netral. Pada umumnya berasosiasi dengan klorit, pirit, zeolit, dan kuarsa pada pH asam-netral (Thompson & Thompson, 1996).



Gambar 4. Mineral lempung smektit (Cl/clay) hadir mengubah matriks gelas vulkanik pada fragmen (Sumur TB-03 kedalaman 409- 412 mKU)

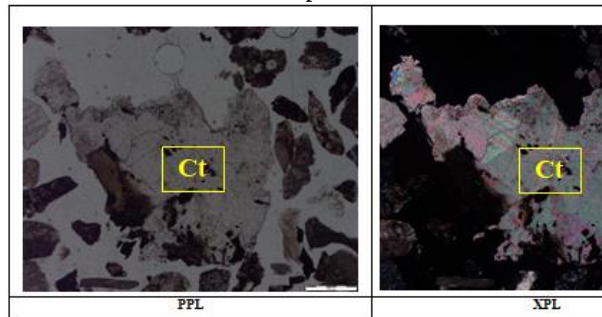
Mineral lempung jenis illit hadir pada kedalaman 1513 dan 1777 mKU. Illit memiliki karakteristik berserabut, hadir mengubah gelas vulkanik, klorit, dan plagioklas. Mineral ini kemungkinan terbentuk pada temperatur yang cukup tinggi yaitu 220 °C-320 °C (Reyes,1990) dan umumnya berasosiasi dengan mineral kuarsa, adularia, pirit, kalsit, dan klorit (Morrison, 1996; Thompson & Thompson, 1996).



Gambar 5 Grafik difraktogram hasil analisis XRD pada sumur TB-03

b. Kalsit

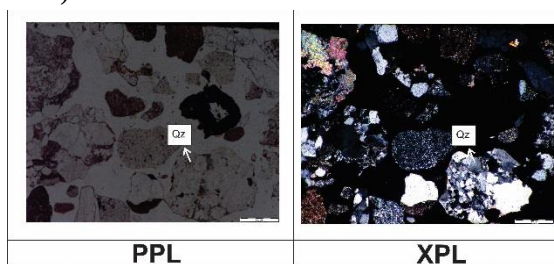
Mineral kalsit ditemukan pada tiap kedalaman sumur TB-03 berupa produk ubahan mineral primer, biasanya plagioklas maupun mengisi rongga atau urat. Mineral kalsit memiliki karakteristik tidak berwarna, warna interferensi tinggi orde 4 (hijau-biru-kuning), memiliki relief tinggi, dan karakteristik pembeda dari kalsit adalah belahan 2 arah ataupun 3 arah yang memiliki bentuk rhombic / belah ketupat.



Gambar 6. Mineral sekunder kalsit (Ct) mengubah plagioklas pada sayatan TB-304 pada perbesaran 100x.

c. Kuarsa Sekunder

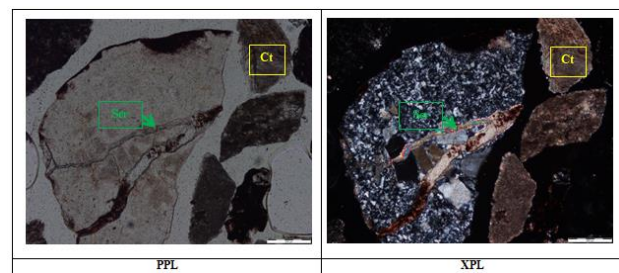
Mineral kuarsa sekunder ditemukan pada tiap kedalaman sumur TB-03 berupa mikrolit plagioklas dan gelas vulkanik juga ditemukan hadir sebagai vein mineral. Mineral kuarsa sekunder secara mikroskopis memiliki karakteristik tidak berwarna, relief rendah, warna interferensi abu-abu orde 1, pada umumnya memiliki tekstur mosaik (mosaic texture) dengan ukuran bervariasi (<1 mikrometer hingga puluhan mikrometer), dan karakteristik lain dari kuarsa sekunder yang khas adalah pemadamannya yang bergelombang. Rentang keterbentukan mineral kuarsa sekunder berada diantara suhu 90°C – 300°C (Hedenquist, et. al., 2000).



Gambar 7. Kuarsa sekunder hadir menggantikan plagioklas (Sumur TB-03 kedalaman 1513 - 1516 mKU).

d. Serisit

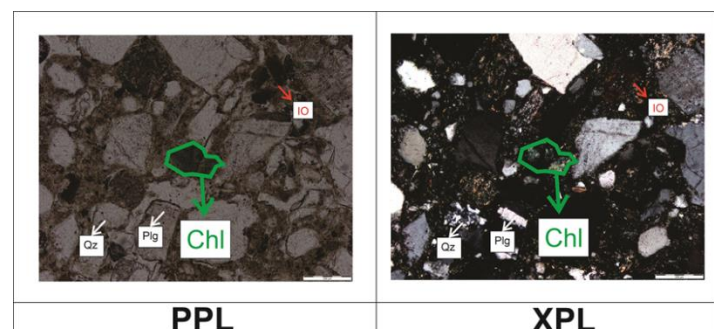
Mineral serisit hadir sebagai ubahan gelas vulkanik dan mineral plagioklas. Serisit memiliki karakteristik tidak berwarna, berwarna merah orde I, bentuk pipih berserabut. Hadir pada kedalaman 1513 - 1780 mKU.



Gambar 8. Mineral sekunder serisit (Ser) mengisi urat pada fragmen kuarsa, kalsit (Ct) mengubah plagioklas pada kedalaman 1777-1780 mKU perbesaran 100x.

e. Klorit

Mineral klorit hadir pada tiap sampel yang dianalisis pada sumur TB-03. Klorit hadir sebagai ubahan dari mineral primer maupun mengisi rongga, dan urat pada fragmen, biasanya hadir mengubah mineral plagioklas, mineral piroksen, dan matriks gelas vulkanik. Mineral klorit memiliki karakteristik hijau keruh, relief sedang, pleokroisme rendah hingga sedang, dan warna interferensi biru orde 1-2. Klorit termasuk kedalam kelompok mineral filosilikat yang terbentuk pada pH yang relatif netral dan dapat terbentuk pada rentang suhu 120°C-220°C sehingga digunakan sebagai geotermometer (Reyes, 1990). Klorit tidak dapat berasosiasi dengan mineral yang termasuk kedalam himpunan advanced argillic, selain itu mineral klorit dapat berasosiasi saat pembentukannya (Morrison, 1997). Kehadiran mineral klorit menandakan zona transisi/ sub-propilitik ataupun zona propilitik (Corbett & Leach, 1998).

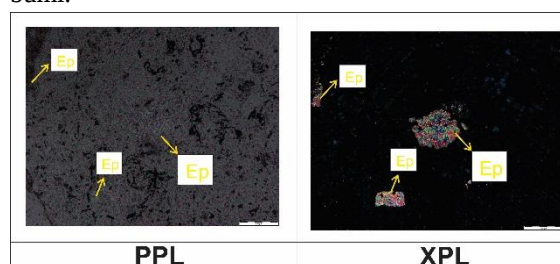


Gambar 9. Klorit hadir mengisi rongga pada fragmen (Sumur TB-03 kedalaman 409 – 412 mKU)

f. Epidot

Mineral epidot ditemukan mulai dari kedalaman 1513 mKU dengan kelimpahan rendah, lalu pada kedalaman 1777 mKU dengan kelimpahan sedang mengubah mineral plagioklas dan mengisi urat pada fragmen. Mineral epidot memiliki karakteristik hijau keruh, relief menengah hingga tinggi, pleokroisme lemah hingga menengah, memiliki warna interferensi orde ke-3. Epidot

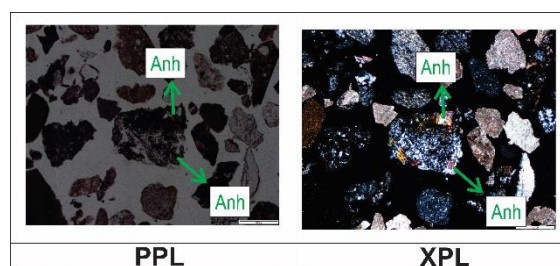
terbentuk dari fluida dengan pH netral, konsentrasi CO_2 yang rendah hingga sedang, konsentrasi silika tinggi, serta konsentrasi FeO_2 yang sedang. Mineral ini mulai terbentuk pada suhu $<200^\circ\text{C}$ dan mulai stabil pada kisaran suhu $200^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$ (Reyes, 1990) sehingga epidot tergolong ke dalam mineral temperatur tinggi (Thompson & Thompson, 1996). Epidot biasanya berasosiasi dengan kuarsa, klorit, illit, kalsit, anhidrit dan epidot (Morrison, 1997). Epidot merupakan mineral yang menandakan zona permeabel (Reyes, 1998; Morrison, 1997). Epidot juga umumnya ditemukan pada zona propilitik (Leach, 1997), dikarenakan epidot umumnya ditemukan pada zona propilitik, maka mineral ini digunakan sebagai penanda bagian reservoir panas bumi.



Gambar 10. Epidot hadir mengubah kalsit pada fragmen andesit (Sumur TB-03 kedalaman 1777-1780 mKU)

g. Anhidrit

Mineral anhidrit ditemukan sebagai ubahan dari plagioklas dan kalsit pada kedalaman 1777 mKU. Mineral anhidrit terbentuk dari fluida hidrotermal dengan pH asam hingga netral, kisaran pH sekitar 5-6 (Morrison, 1997). Terbentuk pada suhu $180^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$. Anhidrit biasanya berasosiasi dengan kuarsa, illit, adularia, karbonat, biotit, dan serisit. Mineral anhidrit merupakan indikasi permeabilitas tinggi (Reyes, 1990) terutama jika keterdapatannya melimpah serta mengindikasikan juga proses boiling pada sistem panas bumi (Morrison, 1997).

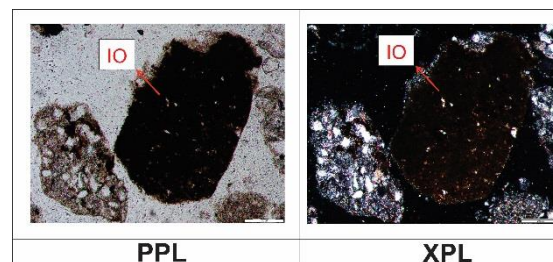


Gambar 11. Anhidrit hadir mengubah kalsit pada fragmen andesit (Sumur TB-03 kedalaman 1777- 1780 mKU)

h. Oksida Besi

Mineral oksida besi ditemukan sebagai ubahan dari mineral plagioklas serta gelas vulkanik, Mineral oksida besi memiliki karakteristik warna merah kehitaman, relief tinggi, warna interferensi tinggi (merah-hitam). Mineral ini ada di setiap kedalaman

dengan persentase kehadiran rendah hingga sedang.



Gambar 12. Oksida besi hadir mengubah fragmen (Sumur TB-03 kedalaman 661 – 663 mKU)

4.3 Zona Alterasi Sumur TB-03

Berdasarkan kelimpahan asosiasi mineral ubahan, sumur TB-03 dibagi kedalam 2 zona alterasi, yaitu zona smektit-klorit-kalsit dan zona illit-klorit-epidot.

a. Zona Smektit-Klorit-Kalsit

Zona ini didominasi oleh kehadiran mineral smektit, klorit, dan kalsit. Ditemukan pula mineral pirit, oksida besi, dan pirit dengan persentase yang tidak banyak. Zona ini memiliki intensitas mineral lempung smektit yang banyak sehingga diperkirakan sebagai zona penudung pada sistem panas bumi dengan kedalaman $\pm 409 \pm 663$ mKU. Berdasarkan pembagian zona alterasi, zona ini termasuk kedalam zona sub-propilitik (Corbett & Leach, 1997). Zona ini juga memiliki temperatur yang berada pada kisaran $120^\circ\text{C} - 180^\circ\text{C}$ pada masa pembentukannya (Reyes, 1990).

Tabel 2 Kisaran temperatur zona alterasi zona smektit-klorit-kalsit

Mineral Geotermometer	Temperatur (°C)																		
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	
Smektit																			
Klorit																			
Kalsit																			

b. Zona Illit-Klorit-Epidot

Zona ini didominasi oleh kehadiran mineral illit, klorit, dan epidot. Ditemukan pula kehadiran mineral serisit dan anhidrit dengan persentase sedikit sampai sedang. Zona ini diinterpretasikan sebagai zona reservoir karena terdapat kehadiran mineral epidot sebagai penciri zona reservoir pada sistem panasbumi dengan kedalaman ± 1513 ke bawah. Berdasarkan kategorisasi zona alterasi, zona ini termasuk kedalam zona propilitik (Corbett dan Leach, 1998). Zona ini memiliki kisaran temperatur $240^\circ\text{C} - 300^\circ\text{C}$ (Reyes, 1990).

Tabel 3 Kisaran temperatur zona alterasi zona illit-klorit-epidot

Mineral Geotermometer	Temperatur (°C)																	
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
Illit																		
Klorit																		
Epidot																		

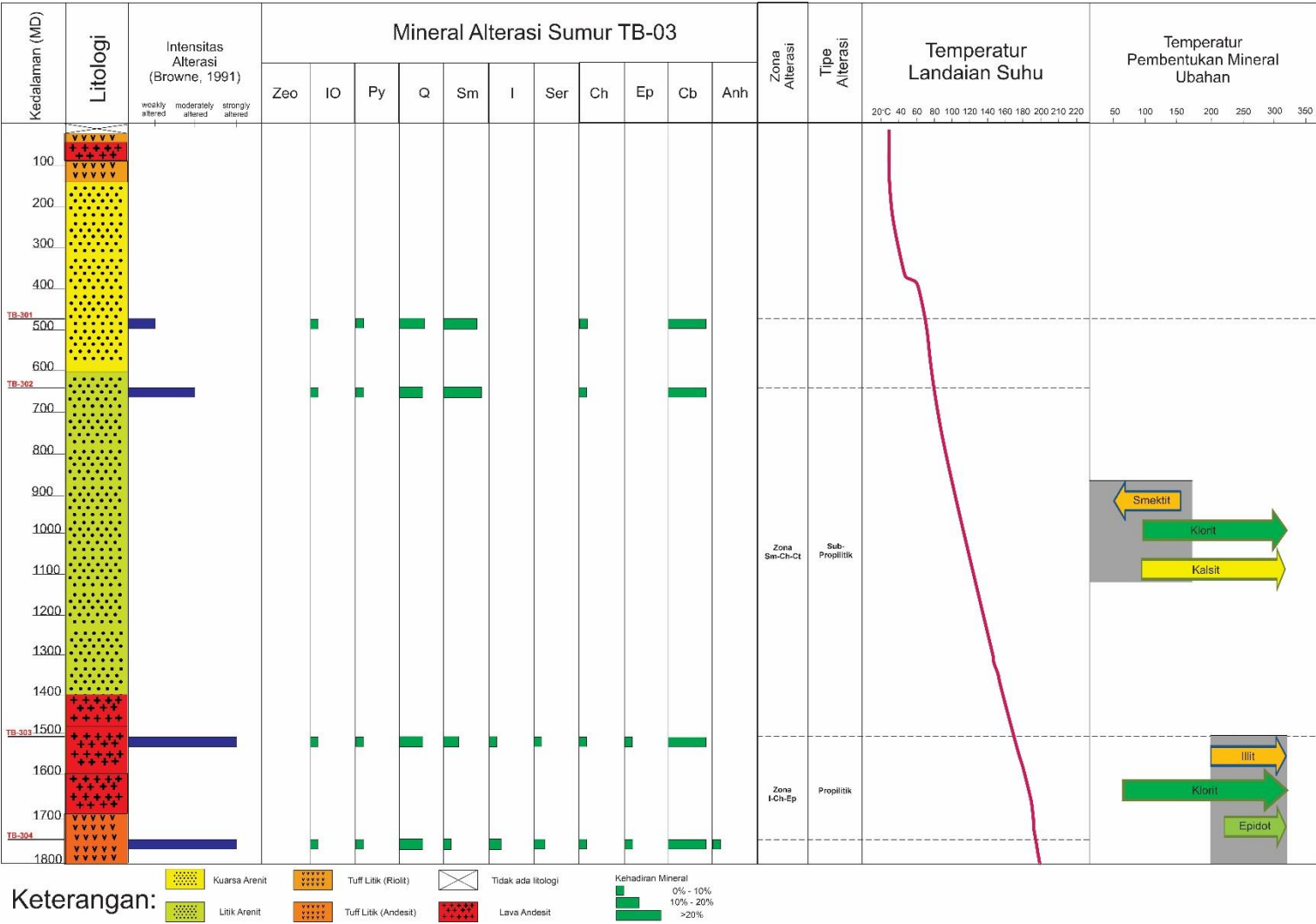
4.4 Temperatur Sumur

Perbandingan kedua data dilakukan sesuai dengan data geoindikator mineral pada kedalaman yang tersedia. Data geoindikator mineral menunjukkan temperatur larutan hidrotermal pada masa lampau sedangkan data landaian suhu (Gambar 13.) menunjukkan temperatur fluida pada sumur TB-03 yang berlangsung saat ini.

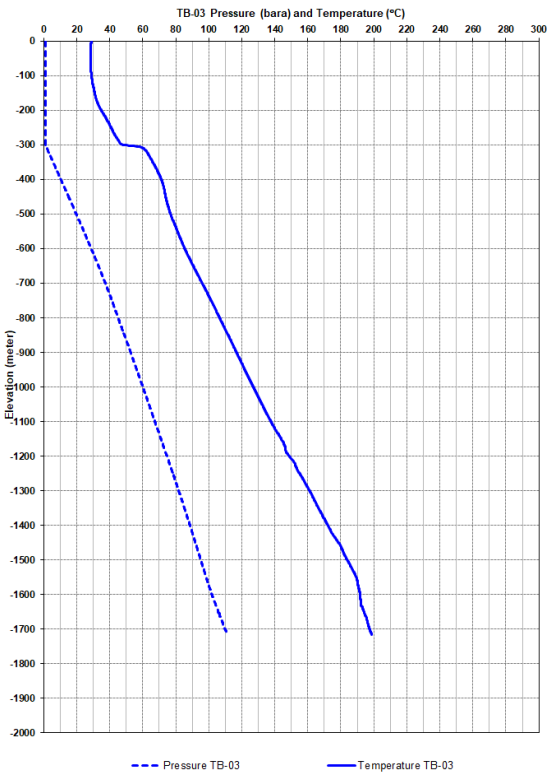
Hasil perbandingan antara data geoindikator mineral dengan data landaian suhu, terlihat bahwa temperatur dari data terdapat selisih antara data temperatur dari geoindikator mineral dengan data temperatur landaian suhu. Geoindikator mineral pada kedalaman 490-663 mKU berada pada kisaran temperatur 120 °C - 180 °C, sementara pada data PT menunjukkan kisaran temperatur 80°C - 100°C. Terdapat selisih dari penurunan pada data landaian suhu sebesar 20°C, selain itu, kedalaman ini juga berdasarkan kehadiran mineral sekunder jenis

lempung yang melimpah serta suhunya termasuk ke dalam zona *caprock*. Geoindikator mineral pada kedalaman 1513-1780 mKU menunjukkan temperatur pada kisaran 240 °C - 300 °C, sementara data PT menunjukkan kisaran temperatur 180°C - 200 °C. Terdapat selisih dari penurunan pada data landaian suhu sebesar 40°C. Pada kedalaman ini berdasarkan kehadiran mineral sekunder serta suhunya termasuk ke dalam zona reservoir.

Penurunan signifikan yang terlihat dari data landaian suhu menunjukkan pendinginan fluida hidrotermal seiring waktu di sumur TB-03, serta kemungkinan adanya proses reinjeksi air meteorik dingin ke reservoir yang mengakibatkan penurunan drastis pada suhu reservoir. Jika didasari oleh geoindikator mineral, maka reservoir TB-03 termasuk ke golongan entalpi tinggi, namun jika berdasarkan data terbaru dari data landaian suhu, reservoir termasuk ke dalam golongan entalpi sedang (Hochstein, 1990).



Gambar 3. Log litologi sumur TB-03



Gambar 13. Data landaian suhu (PT) sumur TB-03

5. KESIMPULAN

Sumur TB-03 dikelompokkan menjadi dua zona alterasi yaitu (1) zona smektit-klorit-kalsit pada kedalaman $\pm 409 \pm 663$ termasuk kedalam zona penudung, (2) zona illit-klorit-epidot pada kedalaman $\pm 1513 \pm 1780$ mKU termasuk ke dalam zona reservoir. Pada sumur ini terjadi penurunan suhu secara signifikan yaitu sebesar 20-40°C yang diakibatkan proses reinjeksi air pada zona reservoir guna mengontrol tekanan dan kualitas fluida hidrotermal pada zona tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada PT. KS Orka Renewables Pte. Ltd. Dan PT. Sorik Marapi Geothermal Energy (PT. SMGP) atas izinnya untuk menggunakan data untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Hochstein, M. P., & Sudarman, S. (2015). Indonesian Volcanic Geothermal Systems. *World Geothermal Congress 2015, April*, 11.
- Hochstein, M. P., & Sudarman, S. (2017). *History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000. June 2008*. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2008.01.001>
- Lawless, J.V., White, B.J. and Bogie, I., 1994 : Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. 1-30 p, Kingston Morrison, Fifth edition
- Licup, A. C., Sarmiento, Z. F., Omac, X. L., Maneja, F. C., Chandra, V. R., Esberto, M. B., Villareal, M. J. Z., Baltasar, A. S. J., Mulyani, S., Sari, P. P., & Juandi, D. (2017). Geothermal 3D Subsurface Modeling A Case Study from Sorik Marapi Field ,Indonesia. *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017, Earth Science*.
- 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.
- Reyes, A. G. (1990). Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43(1-4), 279-309.
- Rezky, Y., & Hermawan, D. (2015). Geothermal System of Sorik Marapi - Roburan - Sampuraga , North Sumatera , Indonesia. *World Geothermal Congress 2015, 444*, 19-25.
- Thompson, A.J.B., Thompson, J.F.H., 1996, *Atlas of Alteration: A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals*, Newfoundland: Mineral Deposits Division, Geological Association of Canada.