



PENENTUAN ZONA ALTERASI DAN PALEOTEMPERATUR BERDASARKAN KEHADIRAN MINERAL ALTERASI PADA SUMUR PSR-1 PANTAR, NTT

Suminar Hartini^{1*}, Ildrem Syafri¹, Aton Patonah¹, Dudi Hermawan².

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung

² Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung

*Korespondensi: suminar15001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Desa Aramaba, Kecamatan Pantar Tengah, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik alterasi, zona alterasi dan paleotemperatur sumur PSR-1 berdasarkan kehadiran mineral alterasi. Hasil analisis petrologi, petrografi dan spektra sampel core batuan, diketahui mineral-mineral sekunder yang hadir pada sumur penelitian, antara lain smektit, illit, klorit, kalsit, kuarsa sekunder, epidot, oksida besi, zeolit, dolomit dan anhidrit yang terbentuk pada pH netral, sementara gipsum, kaolinit, dan alunite terbentuk pada pH asam. Berdasarkan kemunculan mineral-mineral tersebut, zona alterasi sumur penelitian dibagi menjadi 3, yaitu zona Smektit-Zeolit terbentuk pada suhu <180 °C, Zona Illit-Klorit terbentuk pada suhu 200 °C-230 °C dan Zona Klorit-Epidot terbentuk pada suhu 240 °C-290 °C. Setelah dibandingkan dengan landaian suhu, diketahui bahwa sumur penelitian mengalami pendinginan dari 180 °C s.d 290 °C temperatur pembentukan mineral ke kondisi 27.6 °C – 73.51°C temperatur landaian suhu. Pendinginan ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan temperatur sumber panas pembentuk sistem Panas Bumi Gunung Sirung dan juga masuknya air permukaan dan air laut melalui rekahan. Sumur penelitian masih berupa zona penudung *caprock* dan zona transisi, zona reservoir kemungkinan berada pada >704mKU atau lebih.

Kata Kunci : Panas bumi, alterasi, paleotemperatur, Pantar

ABSTRACT

The research area is located in Aramaba Village, Pantar Tengah District, Alor Regency, East Nusa Tenggara Province. The purpose of this study is to determine the characteristics of alteration, alteration zones and subsurface temperature of the research well based on the presence of alteration minerals. The results of petrological analysis, petrography and spectra mineral of core samples are known secondary minerals that appear in the research well, including smectite, illite, chlorite, calcite, secondary quartz, epidote, iron oxide, zeolite, and anhydrite formed at neutral pH, while Gypsum, kaolinite, and alunite are formed at acidic pH. Based on the appearance of these minerals, the alteration zone of the research well is divided into 3 zones, the Smectite-Zeolite zone formed at <180 °C, the Illit-Chlorite Zone formed at 200 °C-230 °C and the Chlorite-Epidot Zone formed at 240 °C- 290 °C. After comparing with the thermal gradient data, it is known that the research well has cooled from 180 °C to 290 °C mineral formation temperature to 27.6 °C - 73.51 °C thermal gradient. This cooling is probably caused by decrease in temperature of the heat source forming the Gunung Sirung geothermal system and . The research well is still in the caprock zone and transition zone, the reservoir zone might be at the depth of >704 mKU or more.

Keywords : Geothermal, alteration, paleotemperature, Pantar

1. PENDAHULUAN

Panas bumi berkaitan erat dengan alterasi hidrotermal. Alterasi hidrothermal

merupakan proses perubahan komposisi secara kimia, mineralogi, dan tekstur yang dihasilkan dari interaksi larutan hidrothermal dengan batuan yang dilaluinya.

Interaksi tersebut akan menghasilkan sekumpulan mineral sekunder.

Penelitian mengenai alterasi hidrotermal pada lapangan panas bumi dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik sistem panas bumi terkini dan masa lampau, meliputi temperatur, tekanan, permeabilitas, komposisi fluida dan perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada reservoir. Berdasarkan pemaparan diatas, penelitian difokuskan pada alterasi dalam eksplorasi panas bumi Pada Sumur PSR-1 Lapangan Panas Bumi Pantar, Nusa Tenggara Timur. Daerah penelitian terletak di Desa Aramaba, Kecamatan Pantar Tengah, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Daerah ini memiliki prospek seluas 24 km² (Hadi & Kusnadi, 2015) dengan potensi cadangan sebesar 152 Mwe (Rahadinata & Ruyatno, 2016).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Lapangan Panas Bumi Pantar tersusun atas 8 satuan batuan. Satuan batuan ditentukan berdasarkan prinsip vulkanostratigrafi dan litostratigrafi tidak resmi (Hadi, 2015) (Gambar 1). Sumur penelitian sendiri berada pada endapan yang merupakan bagian dari aliran dan jatuhan Satuan Vulkanik Sirung. Satuan Vulkanik Sirung menempati hampir seluruh tubuh dan puncak Gunung Sirung. Produk vulkanik Guning Sirung umumnya melampar ke arah utara dan timur. Satuan ini terbagi menjadi lava, aliran dan jatuhan piroklastik.

Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian didominasi oleh arah tegasan utara-selatan sebagai sesar utama. Sesar ini diduga sesar normal yang membuka sehingga membentuk zona permeable dan berfungsi meloloskan fluida hidrotermal ke permukaan Pola tersebut berhubungan dengan arah tektonik regional yang berkembang di daerah Pantar-Alor. Lapangan Panas Bumi Pantar dipengaruhi oleh subduksi antara lempeng Australia di selatan dan Busur Banda dibagian utara yang mengakibatkan aktifitas vulkanik dan kegempaan yang tinggi hingga saat ini.

3. METODE

Objek yang diamati dalam penelitian ini adalah sampel batuan inti, data analisis Specterra Mineral Analyzer, dan Geologi dan data geokimia. 11 sampel inti diambil dari kedalaman 11 mKU hingga 704,5 dianalisis dengan menggunakan analisis petrologi (pengamatan megaskopis) analisis petrografi (pengamatan mikroskopis). Analisis petrologi, petrografi, spektra mineral dan geokimia digabungkan untuk menentukan karakteristik alterasi dari sumur PSR-1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Litologi Sumur Penelitian

Hasil analisis petrologi dan petrografi sumur penelitian menunjukan bahwa litologi pada Sumur PSR-1 terdiri dari :

1. Tuf Gelas

Tuf dijumpai pada kedalaman 3 mKU sampai 24,20 mKU. Terdapat urat-urat halus yang terisi oleh mineral lempung dan kalsit. Fragmen dan matriks gelas vulkanik sebagian teralterasi menjadi mineral lempung dan zeolit. Batuan teralterasi lemah (20%) dengan matriks dan fragmen gelas vulkanik sebagian berubah (Browne, 1991).

2. Breksi Tuf

Breksi Tuf dijumpai pada kedalaman 24,20 mKU sampai 159,20 mKU. Merupakan breksi dengan komponen yang terdiri atas tuf sebagai fragmen dominan, andesitik, basaltik, tuf, pumice dan skoria. Matriks berupa vitric tuff. Sebagian matriks telah berubah menjadi mineral lempung, kalsit, dan zeolit. Intensitas alterasi sedang (40%) dengan matriks dan fragmen yang telah berubah namun asal batuan masih dapat terlihat (Browne, 1991).

3. Tuf Lapili

Tuf Lapili dijumpai pada kedalaman 159,20 mKU sampai 249,60 mKU.

Memiliki fragmen yang terdiri atas batuan andesitik, basaltik, pumice dan skoria berukuran <3cm (lapili). Matriks berupa vitric tuff. Sebagian matriks telah terubah menjadi mineral lempung, kalsit, klorit dan zeolit. Terdapat urat kalsit yang memotong batuan. Rongga pada komponen skoria sebagian besar terisi oleh klorit, zeolit dan kalsit. Intensitas alterasi sedang (45%-50%) dengan matriks dan fragmen yang telah berubah namun asal batuan masih dapat terlihat.

4. Breksi Andesit

Breksi Andesit dijumpai pada kedalaman 249,60 mKU sampai 486,75 mKU. Merupakan breksi dengan komponen berupa batuan andesitik sebagai komponen dominan dan basaltik Matriks berupa crystall tuff. Terdapat urat yang terisi kalsit, klorit dan kuarsa sekunder serta rongga yang terisi oleh mineral klorit, kalsit, dolomit mineral sekunder. Intensitas alterasi sedang-kuat (45%-60%) dengan matriks dan fragmen yang hampir terubah seluruhnya tetapi tekstur asal dan bentuk kristal masih dapat terlihat.

5. Breksi Vulkanik

Breksi Vulkanik Terubah dijumpai pada kedalaman 486,75 mKU sampai 704,50 mKU. Merupakan breksi dengan komponen berupa batuan andesitik dan basaltik, dasitik. Matriks berupa vitric tuff. Terdapat urat kalsit yang memotong batuan dan rongga yang terisi oleh kalsit, kuarsa sekunder dan klorit. Pada bagian yang lebih dalam batuan terkekarkan kuat Intensitas alterasi kuat (60-65%) dengan dengan matriks dan fragmen yang hampir terubah seluruhnya tetapi tekstur asal dan bentuk kristal masih dapat terlihat.

4.2 Mineral Alterasi

Berdasarkan hasil analisis spektra dan petrografi, mineral alterasi pada sumur penelitian antara lain :

1. Smektit $-(\frac{1}{5}\text{Ca}, \text{Na})_{0.7}(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4.n\text{H}_2\text{O}$

Berdasarkan hasil analisis Specterra Mineral Analyzer mineral ini hadir pada sampel pada kedalaman 46 mKU, 225 mKU dan 468 mKU. Mineral smektit terbentuk di temperatur sekitar <180°C pada pH netral (Reyes, 1990).

2. Illit $-[\text{K}_{1.5-1.0}\text{Al}_4[\text{Si}_{6.5-7.0}\text{Al}_{1.5-1.0}\text{O}_{20}](\text{OH})_4]$

Berdasarkan hasil analisis Specterra Mineral Analyzer mineral ini hadir pada sampel kedalaman 168 mKU, 468mKU, 575 mKU dan 704mKU. Illit terbentuk di temperatur sekitar 230°C – 320°C pada pH netral dan pH asam. Menurut Corbett dan Leach (1996) Illit stabil pada suhu sekitar 200°C - 250°C. Sedangkan menurut Browne (1978), illit stabil pada temperatur <220°C.

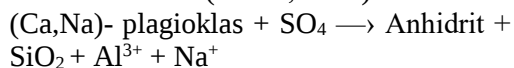
3. Klorit $-(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}, \text{Al})_{12}[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$

Mineral ini hadir dari kedalaman 268 mKU - 649 Mku. Terdapat dua jenis mineral klorit yang hadir pada sumur penelitian, yaitu klorit yang berwarna hijau-keruh mendominasi pada kedalaman 468 mKU - 704 mKU. Klorit ini merupakan klorit yang banyak mengandung Fe. Klorit berwarna coklat-kehijauan hadir pada kedalaman 168 mKU - 468 mKU. Klorit ini merupakan klorit yang banyak mengandung Mg. Mineral klorit hadir menggantikan mineral sebagian sampai keseluruhan plagioklas, gelas vulkanik, dan mengisi rongga dan urat. Menurut Browne and Ellis (1970), klorit stabil pada suhu stabil pada suhu sekitar 150°C-290 °C. Berikut adalah reaksi alterasi pergantian mineral klorit (Utami, 2011).
 $\text{SiO}_2 + \text{air} + \text{Al}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mg}^+ \rightarrow (\text{Fe}, \text{Mg}) \text{ klorit}$
 $(\text{Ca}, \text{Na})\text{-plagioklas} + \text{air} + \text{Mg}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow (\text{Mg}, \text{Fe})\text{klorit} + \text{Ca}^{2+} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$

4. Anhidrit $-\text{CaSO}_4$

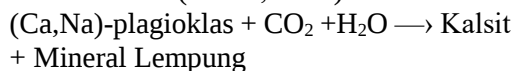
Mineral ini hadir sebagai mineral pengganti dalam hal ini mineral plagioklas, menggantikan sebagian atau keseluruhan. Mineral ini hadir pada 168 mKU, 225 mKU, 344 mKU sampai 704 mKU dengan

kelimpahan jarang. Menurut geothermometer mineral (Reyes, 1990) mineral anhidrit berasal dari fluida pH asam, dan terbentuk pada temperatur 180°C-340°C. Mineral ini umum terdapat di zona permeabel di mana terjadi pencampuran antara fluida asam dengan fluida netral pada lingkungan yang panas (Morrison., 1997). Berikut adalah reaksi alterasi pergantian yang menghasilkan mineral anhidrit (Utami, 2011) :



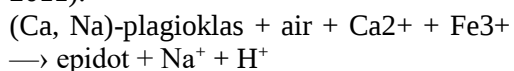
5. Kalsit – CaCO₃

Kalsit hadir menggantikan mineral plagioklas, fragmen batuan, mengisi urat, rongga dan gelas vulkanik. Mineral kalsit yang mengisi rongga umumnya muncul beragregat. Mineral ini hadir pada semua kedalaman dan hadir melimpah pada kedalaman 168 mKU sampai 704 mKU. Kalsit memiliki rentang suhu yang panjang, yaitu 20°C – 320°C dan stabilitas sangat bergantung pada konsentrasasi CO₂ (Reyes, 1990). Berikut adalah reaksi alterasi pergantian yang menghasilkan mineral kalsit (Utami, 2011) :



6. Epidot - Ca₂Al₂O.₃(Al,Fe³⁺)OH[Si₂O₇[SiO₄]

Epidot pertama kali hadir pada pada kedalaman 293 mKU menggantikan mineral plagioklas sebagian dan terlihat sampai kedalaman 704 mKU. Epidot pada sumur penelitian umumnya berasosiasi dengan kalsit, klorit dan kuarsa. Epidot pada sumur penelitian merupakan epidot *incipient*, karena kristalinitasnya yang rendah dengan temperatur pembentukan berkisar 200°C – 250°C (Reyes,1996). Berikut adalah reaksi alterasi pergantian yang menghasilkan mineral epidot (Utami, 2011).



7. Zeolit – Mⁿ_{x/n}Si_{1-x}Al_xO₂.yH₂O

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Specterra Mineral* mineral zeolit pada sumur penelitian merupakan jenis zeolit bertemperatur rendah antara lain mordenite, stilbite dan heulandite. Hadir pada sampel kedalaman 11 mKU-225 mKU, dan 293 mKU-344 mKU. Hadir menggantikan gelas vulkanik dan plagioklas serta mengisi rongga. Mineral zeolit temperatur rendah stabil pada temperatur <200°C (Kristmannsdóttir and Tómasson,1976;Bird et al., 1984).

8. Kuarsa Sekunder -SiO₂

Kuarsa Sekunder hadir di hampir setiap kedalaman sumur penelitian. Kuarsa sekunder hadir mengisi urat dan rongga dan menggantikan gelas vulkanik pada matriks. Kuarsa sekunder berasosiasi dengan kalsit, kuarsa, klorit.Kuarsa merupakan mineral yang dapat terbentuk pada pH asam hingga netral pada temperatur terbentuk di temperatur 180°C.

9. Oksida Besi

Oksida besi hadir pada setiap kedalaman. Pada pengamatan petrografi berwarna merah kecoklatan, relief rendah, dan anhedral. Mineral ini hadir menggantikan sebagian mineral plagioklas, gelas vulkanik dan menggantikan fragmen batuan.

10. Kaolinit - Al₂Si₂O₅(OH)₄

Berdasarkan hasil analisis *Specterra Mineral Analyzer* mineral kaolinit hadir pada kedalaman sampel kedalaman 46 mKU. Kehadiran mineral ini jarang pada sumur penelitian. Kaolinit terbentuk pada kondisi pH yang rendah dengan temperatur sekitar 120°C (Reyes,1991).

12. Alunit - KAl₃(SO₄)₂(OH)₆

Berdasarkan hasil analisis *Specterra Mineral Analyzer* mineral alunit hadir pada kedalaman 409.25 mKU dan 655 mKU. Alunit hadir dalam suatu sistem geotermal karena proses fiksasi potasium yang berada pada kondisi pH rendah dan aktifitas sulfat yang tinggi di temperatur yang rendah (Reyes,1991).

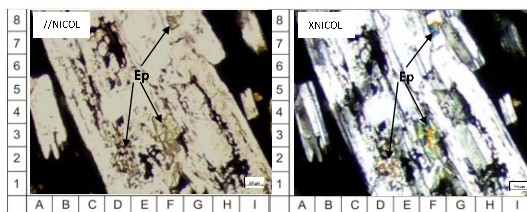
13. Gypsum - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Berdasarkan hasil analisis *Specterra Mineral Analyzer* mineral gipsum hadir pada kedalaman 31.65 mKU dan 431.9 mKU. Kehadiran gipsum jarang pada sumur penelitian. Gipsum terbentuk pada temperatur $<70^\circ\text{C}$ pada suatu sistem geothermal (Holland and Malinin (1979)).

4.3 Tipe Pengendapan Mineral Alterasi Sumur Penelitian

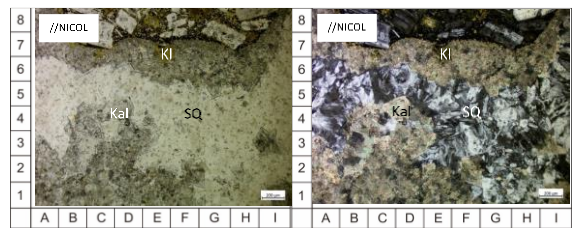
Pada sumur penelitian, terdapat 2 tipe pengendapan mineral alterasi, yaitu penggantian (*replacement*) dan pengendapan langsung (*direct deposition*).

Pada pergantian (*replacement*) mineral primer digantikan oleh satu atau lebih mineral sekunder (Gambar 2). Dalam sumur penelitian, plagioklas digantikan oleh mineral alterasi yang lebih beragam daripada mineral primer lainnya. Penggantian dalam sumur penelitian umumnya terjadi ketika cairan masuk melalui fraktur (mikrofraktur) pada tubuh mineral primer atau di tepi mineral primer.



Gambar 1. Epidot menggantikan mineral plagioklas

Pada pengendapan langsung mineral sekunder hadir mengisi ruang, seperti rekahan dan rongga (Gambar 3). Mineral sekunder yang terendapkan pada mekanisme ini termasuk kalsit, klorit, kuarsa sekunder, dan zeolit. Berdasarkan tekstur pengisian ruang menurut Utami (2011), ada 3 tipe vein dan rongga pada sumur penelitian, tipe mono-mineral, tipe seperti cermin, dan tipe mosaik.



Gambar 2. Kalsit, Klorit dan Kuarsa Sekunder mengisi Rongga

4.4 Zona Alterasi Sumur Penelitian

1. Zona Smektit-Zeolit

Zona Smektit-Zeolit terdapat pada kedalaman 11 mKU – 168 mKU. Mineral sekunder yang hadir pada zona ini didominasi oleh mineral smektit dan zeolit. Pada zona ini juga ditemukan mineral lain yaitu kaolinit, gipsum, oksida besi, kalsit, mineral opak, dan kuarsa sekunder. Smektit stabil pada temperatur berkisar $<180^\circ\text{C}$. Berdasarkan pembagian zona alterasi Corbett dan Leach (1997) zona ini merupakan Zona Argilik-Argilik Lanjut. Zona ini merupakan zona penudung (*caprock*) dalam suatu sistem panas bumi karena didominasi oleh mineral lempung. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral alterasi, zona ini memiliki temperatur $<180^\circ\text{C}$ (Gambar 4).

2. Zona Illit-Klorit

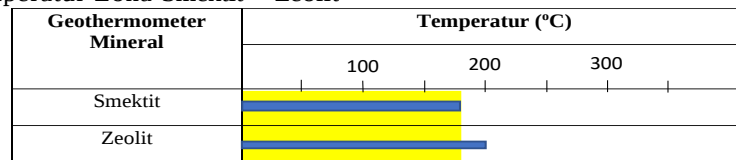
Zona Illite-Klorit terdapat pada kedalaman 168 mKU - 293 mKU. Mineral sekunder yang hadir pada zona ini dicirikan munculnya mineral illit dan mineral klorit. Pada zona ini juga ditemukan mineral oksida besi, mineral opak, zeolit, kalsit, mineral karbonat, smektit, dan kuarsa sekunder. Illit terbentuk pada temperatur berkisar antara 200°C - 230°C . Klorit stabil pada suhu berkisar antara 150°C - 290°C . Berdasarkan pembagian zona alterasi Corbett dan Leach (1997) zona ini merupakan Zona Sub-propilitik. Zona Sub-propilitik dicirikan dengan adanya mineral illit dan klorit namun epidot belum hadir. Zona ini merupakan zona transisi dalam suatu sistem panas bumi. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral ubahan, zona ini memiliki temperatur 200°C - 230°C (Gambar 4).

3. Zona Klorit-Epidot

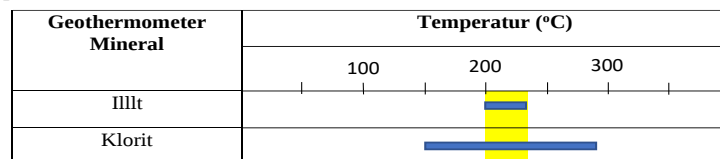
Zona Klorit-Epidot terdapat pada kedalaman 293 Mku - 704mKU. Mineral sekunder yang hadir pada zona ini ditandai dengan munculnya mineral epidot yang merupakan mineral temperatur tinggi. Pada zona ini juga ditemukan mineral alunit, gipsum, oksida besi, mineral opak, kalsit, mineral karbonat, smektit, dan kuarsa sekunder. Klorit stabil pada suhu berkisar antara 150 °C - 290 °C. Epidot incipient terbentuk pada temperatur >240 °C. Berdasarkan pembagian zona alterasi Corbett dan Leach (1997) zona ini

merupakan Zona Propilitik. Zona Propilitik dicirikan dengan munculnya mineral temperatur tinggi seperti epidot. Hadirnya mineral epidot merupakan indikasi zona reservoir. Namun, masih dijumpainya mineral lempung yang impermeable mengindikasikan bahwa pada kondisi masa sekarang zona ini bukan lagi zona reservoir. Zona ini masih berada pada zona transisi, karena kehadiran klorit dan illit yang melimpah. Berdasarkan temperatur pembentukan mineral ubahan, zona ini memiliki temperatur 240 °C-290 °C (Tabel 4).

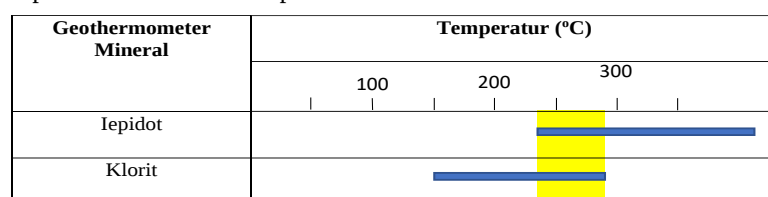
Temperatur Zona Smektit – Zeolit



Temperatur Zona Illite-Chlorite



Temperatur Zona Klorit-Epidot



Gambar 3. Temperatur Pembentukan Mineral Zona Alterasi Sumur penelitian

4.6 Fluida Hidrotermal

Sumur penelitian tersusun atas mineral-mineral yang terbentuk pada pH netral antara lain epidot, zeolit, klorit, smektit, kalsit, kuarsa sekunder, anhidrit dan mineral yang terbentuk pada pH asam antara lain kaolinit, alunite dan gipsum.

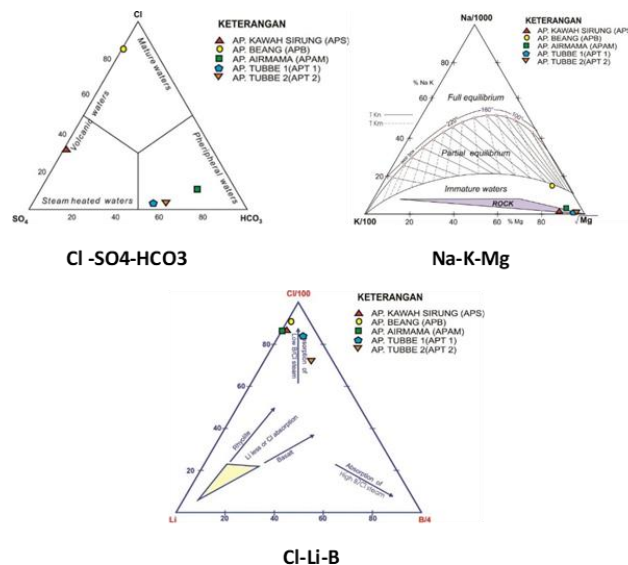
Terbentuknya mineral anhidrit pada hampir seluruh kedalaman menunjukkan adanya interaksi antara fluida asam dengan fluida netral. Anhidrit merupakan mineral yang terbentuk pada pH netral dan penciri terjadinya proses netralisasi fluida asam (Morisson, 1977).

Berdasarkan analisis geokimia pada manifestasi air panas dekat sumur diketahui bahwa manifestasi air panas dominan mendekati pH netral (Gambar 5). Fluida asam kemungkinan berasal dari air vulkanik

Gunung Sirung yang kaya sulfat. Hal ini dapat diketahui dari diagram segi tiga Cl - SO₄-HCO₃ (Gambar 6) yang menunjukkan bahwa sampel air panas kawah Sirung pada puncak Gunung Sirung, bertipe sulfat-klorida dengan indikasi air vulkanik yang bersifat asam. Sedangkan fluida netral berasal dari *meteoric water* dan tercampur air laut. Hal ini dapat diketahui dari diagram Na-K-Mg (Gambar 6) yang menunjukkan pencampuran air meteorik yang dominan dan diagram Cl, Li, B (Gambar 6) yang menunjukkan adanya pencampuran dengan air laut.

No.	Lokasi	pH
1.	AP. Kawah Sirung (APS)	0,01
2.	AP. Beang (APB)	6.03
3.	AP. Airmama (APAM)	7.17
4.	AP. Tubbe 1 (APT 1)	6.86
5.	AP. Tubbe 2 (APT 2)	6.93

Gambar 4. Pengukuran pH manifestasi air panas pada Lapangan Panas Bumi Pantar (Nurhadi, 2015)



Gambar 5. Analisis Geokimia Manifestasi Air Panas

4.5 Temperatur Sumur Penelitian

Secara umum pada sumur PSR-1 memperlihatkan adanya penurunan temperatur atau pendinginan dari kondisi paleotemperatur sumur penelitian berdasarkan temperatur pembentukan mineral ubahan yang berkisar antara <180 °C s.d 290 °C ke kondisi temperatur sumur pada masa sekarang yaitu sebesar 27.6 °C – 73.51 °C (Gambar 7). Pendinginan ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan temperatur sumber panas pembentuk sistem Panas Bumi Gunung Sirung. Selain itu, pengaruh struktur berupa sesar normal yang

membentuk rekahan-rekahan sebagai jalan untuk air permukaan dan air laut masuk, sehingga daerah penelitian mengalami pendinginan. Mineral-mineral temperatur tinggi seperti illit, klorit, epidot merupakan fosil hidrotermal. Pendinginan kemungkinan juga menyebabkan terbentuknya kembali mineral-mineral lempung yang bersifat impermeable di bagian sumur yang lebih dalam, dan menjadikan zona reservoir tidak lagi berada pada kedalaman 293 -704 mKU.

transisi mengalami penebalan. Zona reservoir diduga berada pada kedalaman >704 mKu atau lebih. Namun, manifestasi air panas disekitar sumur penelitian menunjukkan bahwa sumber panas masih aktif, dan panas yang tertransfer masih terjaga. Sehingga, secara keseluruhan Lapangan Panas Bumi Pantar masih memiliki potensi panas bumi yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah mengizinkan, membantu, dan membimbing penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Browne, P.R.L., Roedder, E., and Wodzicki, A.. 1976. A comparison of past and present geothermal waters from a study of fluid inclusions, Broadlands geothermal field, New Zealand, *in* Cadek, J., and Paces, T., eds., International Symposium on Water-Rock Interaction, 1974: Czechoslovakia, The Geological Survey, Prague, p. 140 - 149.
- Corbett, G., & Leach, T. 1997. Short course manual : Southwest Pasific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization.
- Hadi, M. N., & Kusnadi, D. 2015. Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Holland, H.D., and Malinin, S.D., 1979. The solubility and occurrence of non-ore minerals: Toronto, John Willey and Sons.
- Kristmannsdóttir, H., and Tómasson, J..1976. Nesjavellir - hydrothermal alteration in a high temperature area, *in* Cadek, J., and Paces, T., eds., International Symposium on WaterRock Interaction 1974: Czechoslovakia, The Geological Survey of Prague, p.170-177.
- Morrison, K. 1997. Importat Hydrothermal Minerals and their Significance. Mineral Services.
- Mustofa, S.A., Hermawan, D., dan Rezky, Y. 2017. Landaian Suhu Sumur PSR-1 Daerah Panas Bumi Pantar-Gunung Sirung, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- PSDMBP. 2015. Laporan Survei Terpadu dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pantar. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Rahadinata, T., & Ruyatno. (2016). Survey Magnetotelurik (MT) dan Time Domain Electromagnetic (TDEM) Daerah Panas Bumi Pantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Bandung

