



KARAKTERISTIK ALTERASI BAWAH PERMUKAAN SUMUR RA WILAYAH KERJA PANASBUMI WAYANG WINDU, PANGALENGAN, JAWAB BARAT

Regista Arrizki^{1*}, Ildrem Syafri², Aton Patonah³, Ali Auza⁴

^{1, 2, 3} Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor

⁴PT. Star Energy Geothermal Indonesia

*Korespondensi: regista_arrizki@yahoo.com

ABSTRAK

Sumur RA merupakan salah satu sumur produksi milik PT. Star Energy Geothermal Indonesia yang terletak di Wilayah Kerja Panasbumi (WKP) Wayang – Windu, Pangalengan, Jawa Barat. Penelitian ini difokuskan pada studi alterasi dari sumur penelitian dengan menerapkan metode analisis petrologi yang akan memberikan hasil berupa zona mineral alterasi meliputi litologi, jenis mineral alterasi, tipe alterasi, temperatur dan fluida pembentukan mineral alterasi, dan korelasi temperatur antara geotermometer mineral alterasi dengan temperatur terukur sumur RA. Data yang digunakan dalam penelitian meliputi conto serbuk bor (*cutting*), data XRD, dan data temperatur terukur. Zona mineral alterasi pada sumur RA dari kedalaman dangkal hingga lebih dalam terdiri dari zona smektit-illit-kaolinit dan zona klorit-smektit. Zona smektit-illit-kaolinit berada pada kedalaman 57-843 MD pada litologi lava andesit, tuf kristal, tuf litik, dan andesit. Zona smektit-illit-kaolinit bertindak sebagai zona penudung, termasuk ke dalam tipe alterasi argilik, pH fluida asam mendekati netral, kisaran temperatur berdasarkan geotermometer mineral 100°-<200°C dan 33°-167°C menurut temperatur terukur sumur. Zona klorit-smektit berada pada kedalaman 843-1150 MD pada litologi andesit, bertindak sebagai zona transisi karena keterdapatan klorit bersamaan dengan smektit, memiliki tipe alterasi sub-propilitik, pH fluida netral, kisaran temperatur berdasarkan geotermometer mineral >200°C dan 167°-250°C menurut temperatur terukur sumur.

Kata kunci: Zona alterasi mineral, litologi, mineral alterasi, tipe alterasi, temperature, fluida

ABSTRACT

RA well is one of the production wells owned by PT. Star Energy Geothermal Indonesia located on geothermal working areas (WKP) Wayang – Windu, Pangalengan, West Java. This study focused on alteration of the research well with applies petrology analysis method which will give result alteration mineral zone involve lithology, alteration mineral, alteration type, temperature and fluid formation of alteration mineral, and correlation of temperature by geotermometer mineral with measured temperature of RA well. The data used include cutting samples, XRD data, and measured temperature. The alteration mineral zone in RA well from shallow depth to deeper are smectite-illite-kaolinite zone and chlorite-smectite zone. Smectite-illite-kaolinite zone lies at 57-843 MD on andesitic lava, crystal tuff, lithic tuff, and andesite. Smectite-illite-kaolinite zones act as caprock, with argilic alteration, acidic near neutral pH fluids, the range of temperature by geotermometer mineral 100°-<200°C and 33°-167°C by measured well temperature. Chlorite-smectite zone lies at 843-1150 MD on andesite, act as transition zone, sub-propilitic alteration type, neutral pH fluids, the range of temperature by geotermometer mineral >200°C and 167°-250°C by measured well temperature.

Keywords : Alteration mineral zones, lithology, alteration minerals, alteration types, temperature, fluid.

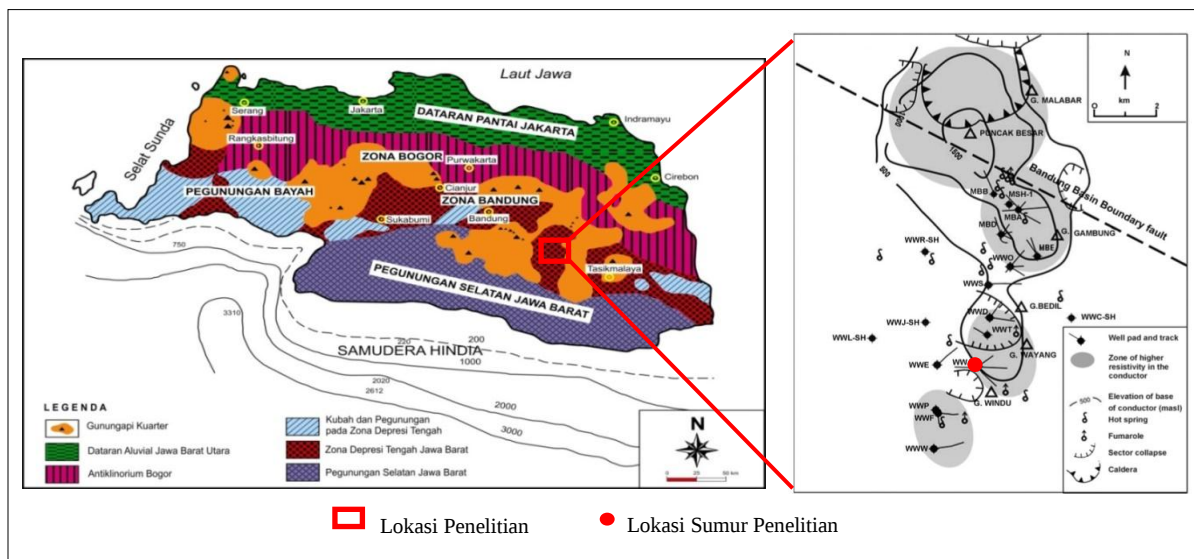
1. PENDAHULUAN

Kebutuhan Indonesia akan energi listrik akan terus meningkat, namun sebaliknya persediaan sumber daya energi konvensional yang tidak terbarukan seperti minyak dan gas bumi terus berkurang. Oleh karena itu, Indonesia membutuhkan sumber energi yang terbarukan, melimpah, dan ramah lingkungan, salah satunya adalah energi panas bumi.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang secara geografis terletak pada jalur “*Ring of Fire*” akibat banyaknya aktivitas vulkanisme sehingga dapat disimpulkan bahwa potensi panas bumi di Indonesia sangat besar.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan guna pengembangan daerah prospek panas bumi di Indonesia dengan cara mengkaji salah satu manifestasi yang ada di daerah penelitian yaitu alterasi hidrotermal.

Lapangan panas bumi Wayang-Windu diinterpretasikan sebagai sistem transisi antara *vapor-dominated* dan *liquid-dominated* dengan empat pusat fluida yang secara umum semakin muda dan semakin *liquid-dominated* ke arah selatan (Bogie et al., 2008). Lapangan ini merupakan produsen panas bumi yang telah menyumbangkan energi panas bumi sebesar 227 MW dengan unit satu menghasilkan 110 MW dan unit dua menghasilkan 117 MW. Kedua unit pembangkit tersebut didukung dengan sejumlah sumur produksi (Star Energy Geothermal, 2012). Lokasi penelitian ini berada di Lapangan Panasbumi Wayang-Windu yang dikhususkan pada hasil pengeboran salah satu sumur produksi yaitu sumur RA terletak pada koordinat 789994.09 mE dan 9201437.34 mN dengan elevasi 1.729,47 m dan kedalaman sumur mencapai 2399 MD (*meter depth*) (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada studi alterasi dengan metode analisis petrologi yang akan memberikan hasil berupa (1) Jenis litologi, jenis mineral alterasi, zona mineral alterasi, dan tipe alterasi; (2) Temperatur dan fluida pembentukan mineral alterasi; dan (3) Korelasi temperatur antara geotermometer mineral alterasi dengan temperatur terukur sumur RA. Penelitian ini dilakukan berdasarkan analisis petrologi secara megaskopis, analisis mikroskopis (petrografi), dan analisis data hasil XRD (*X-Ray Diffraction*) dan temperatur terukur sumur (landaian suhu).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fisiografi Regional Daerah Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada zona Bandung yang merupakan suatu depresi diantara gunung-gunung dan sebagian besar terisi oleh endapan vulkanik muda produk dari gunungapi disekitarnya (van Bemmelen, 1949).

2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian

Lapangan Panas Bumi Wayang Windu terletak di bagian selatan lereng Gn. Malabar (gunungapi strato besar berkomposisi andesitik) dan pada

rangkaian gunungapi kecil yang membentang ke arah selatan, termasuk Gn. Bedil, Gn. Wayang, dan Gn. Windu (Bogie and Mackenzie, 1998). Daerah penelitian termasuk kedalam Peta Geologi Regional Lembar Garut 1208-6 dan Pamengpeuk 1208-3 dengan empat satuan batuan (Alzwar dkk., 1992) yang terdiri dari:

1. Satuan Andesit Waringin-Bedil, Malabar Tua, beranggotakan perselingan lava, breksi dan tuf, bersusunan andesit piroksen dan hornblenda.
2. Satuan Endapan Rempah Lepas Gunungapi Tua Tak-Teruraikan, beranggotakan tuf hablur halus-kasar dasitan, breksi tufan mengandung batuapung dan endapan lahar tua bersifat andesit-basalt.
3. Satuan Batuan Gunungapi Malabar-Tilu, beranggotakan tuf, breksi lahar mengandung sedikit batuapung dan lava.
4. Satuan Batuan Gunungapi Muda, beranggotakan eflata dan aliran lava bersusunan andesit-basalt, sumber Gunung Wayang dan Gunung Windu.

1.3. Definisi dan Konsep Dasar Panasbumi

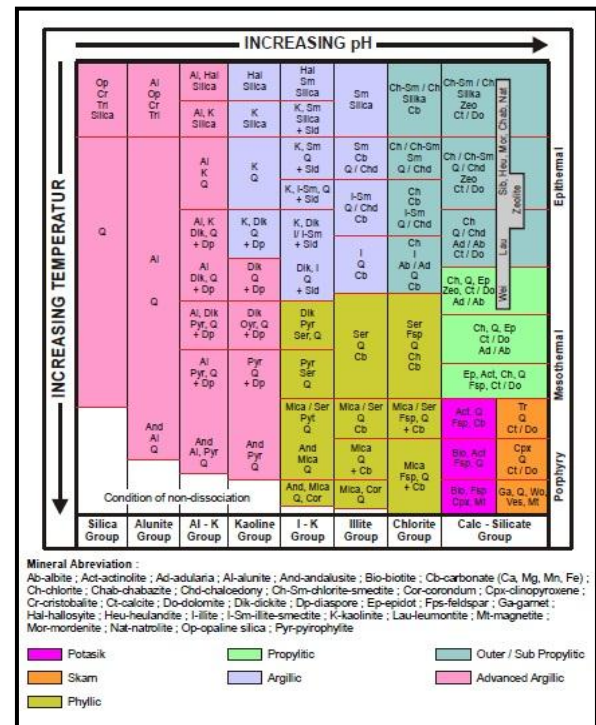
Menurut Pasal 1 UU No. 27 Tahun 2003, panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan.

Suatu sistem panas bumi yang ideal terdiri dari beberapa unsur yakni sumber panas, fluida, lapisan batuan permeabel, dan lapisan batuan impermeabel. Perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi yakni saat sumber panas atau *heat source* memanaskan batuan permeabel dan secara konveksi yakni saat sumber panas tersebut memanaskan fluida yang berada dalam batuan permeabel sehingga menghasilkan aliran konveksi dari fluida yang kemudian tertahan oleh lapisan batuan impermeabel yang kemudian keluar melalui rekahan-rekahan dalam batuan dan membentuk manifestasi-manifestasi panas bumi di permukaan.

Sistem panas bumi dikategorikan menjadi 3 (tiga) jenis sistem (Hochstein & Browne, 2000), yaitu sistem hidrotermal, sistem vulkanik, dan sistem vulkanik-hidrotermal. Sistem hidrotermal

merupakan sistem yang paling banyak dimanfaatkan karena pada sistem tersebut pori-pori batuan mengandung air atau uap atau keduanya dan reservoir umumnya terletak tidak terlalu dalam sehingga masih ekonomis untuk diusahakan. Sistem hidrotermal dibedakan menjadi sistem satu fasa dan sistem dua fasa.

Tabel 1. Mineralogi alterasi di dalam sistem hidrotermal berdasarkan pH dan temperatur (modifikasi dari Corbett dan Leach, 1998)



1.4. Alterasi Batuan dan Mineral Alterasi

Batuan reservoir dan fluida panas pada sistem panas bumi berinteraksi dan bereaksi satu sama lain, sehingga menghasilkan perubahan komposisi mineralogi dan komposisi kimia batuan dan fluida dan menghasilkan sekumpulan mineral sekunder yaitu mineral alterasi hidrotermal (Freestone dan Browne, 1994; Browne 1997). Faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya mineral alterasi adalah temperatur, tekanan, jenis batuan induk, permeabilitas reservoir, komposisi kimia fluida, dan durasi (Browne, 1984). Mineral-mineral alterasi hidrotermal dapat memberi petunjuk mengenai temperatur bawah permukaan saat

mineral tersebut terbentuk. Beberapa mineral hasil alterasi hidrotermal yang sering kali digunakan dalam eksplorasi dan eksploitasi lapangan panas bumi adalah illit, smektit, klorit, *mixed-layer clay*, dan epidot.

Tipe alterasi berdasarkan mineral-mineral ubahannya dibagi menjadi 5 (lima) tipe alterasi yaitu *advanced argilic* temperatur rendah, *advanced argilic* temperatur tinggi, filik, propilitik, dan potasik (Tabel 1).

3. METODE

Objek yang diamati dalam penelitian ini adalah sampel serbuk bor (*cutting*) hasil pemboran sumur RA, data hasil analisis XRD, dan data pengukuran tekanan dan temperatur sumur (landaian suhu).

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengamatan coring, petrografi dan XRD. Setelah dilakukan deskripsi *cutting* dilanjutkan dengan tahap analisis petrografi mengenai tekstur, strukutr dan komposisi mineral yang akan memberikan

pemahaman lebih, sehingga dapat dilakukan interpretasi secara kualitatif terhadap data penelitian.

XRD Ditujukan untuk mengidentifikasi mineral primer maupun mineral alterasi khususnya mineral lempung.

Hasil analisis yang dilakukan dengan metode penelitian diatas diperoleh karakterisasi alterasi yaitu tipe alterasi dan zona mineral alterasi, paleotemperatur mineral alterasi, dan korelasinya dengan temperatur berdasarkan data landaian suhu, dan lingkungan pH dari fluida hidrotermal sumur RA.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1. Zona Mineral Alterasi

Berdasarkan hasil pengamatan megaskopis dari sampel *cutting*, analisis petrografi sebanyak 14 sayatan sampel, dan hasil analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) sebanyak 7 sampel dari sumur RA diperoleh 2 (dua) zona mineral alterasi yaitu:

Tabel 2. Data sekunder hasil analisis XRD pada beberapa conto serbuk bor di beberapa kedalaman pada sumur RA

NO.	DEPTH <i>meter</i>	CLAY MINERALS (%)					CARBONATE MINERALS (%)			OTHER MINERALS (%)										TOTAL (%)			
		SMECTITE	ILLITE-SMECTITE	ILLITE	KAOLINITE	CHLORITE	CALCITE	DOLOMITE	SIDERITE	QUARTZ	CRISTOBALITE	K-FELDSPAR (Sanidin)	PLAGIOCLASE (Andesin)	MAGNETITE	HEMATITE	ALUNITE	MAGNESIO HORNBLÉNDE	ANHYDIRTE	ZEOLITE (Laumontite)	CLAY	CARBONATE	OTHER	
1	100	7	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	80	8	-	-	2	-	-	7	-	93	Zona Smektit-Illit-Kaolinit
2	400	5	-	-	-	-	-	-	-	3	-	4	76	6	-	-	6	-	-	5	-	95	
3	540	60	-	3	3	-	-	-	-	10	-	2	12	8	2	-	-	-	-	66	-	34	
4	720	27	-	-	3	-	5	-	-	2	-	-	50	12	1	-	-	-	-	30	5	65	
5	843	40	-	-	8	-	3	10	-	12	-	-	14	12	1	-	-	-	-	48	13	39	
6	910	7	-	-	-	8	16	-	-	25	-	-	20	24	-	-	-	-	-	15	16	69	Zona Klorit-Smektit
7	1032	18	-	-	-	20	20	-	-	26	-	-	8	8	-	-	-	-	-	38	20	42	

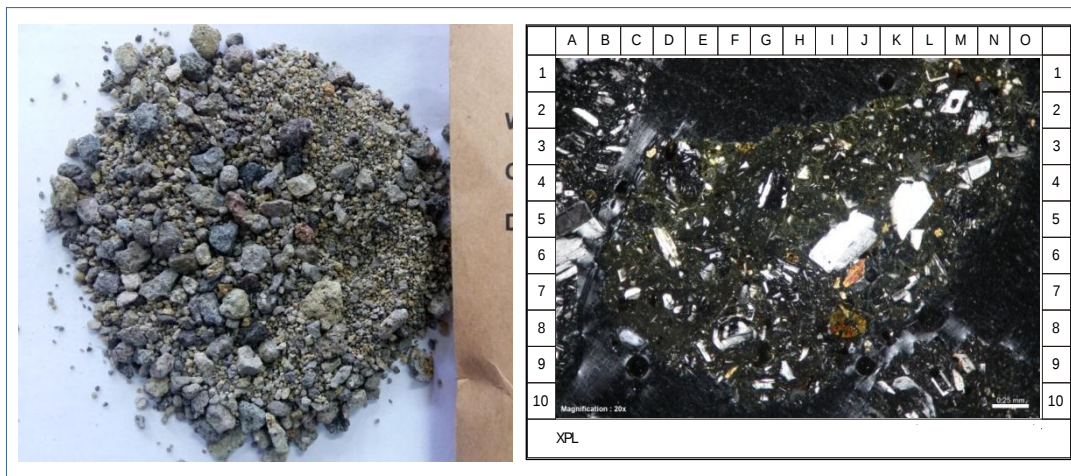
1. Zona Clay (Smektit-Illit-Kaolinit)

Zona ini terletak pada kedalaman 57-843 MD pada litologi lava andesit, tuf kristal, tuf litik, dan andesit dengan intensitas alterasi menjadi mineral lempung bisa mencapai sekitar 60%. Mineral yang terdapat pada zona smektit-illite-kaolinit adalah dominasi smektit, plagioklas, magnetit, kuarsa, dan kaolinit, kemudian mineral lainnya adalah karbonat, ilit, kalsit, dolomit, K-feldspar, magnesio hornblende, dan hematit (Tabel 2). Berdasarkan kehadiran dominasi smektit, illite, dan kaolinit disertai dengan keterdapatannya kuarsa sekunder, kalsit, dan dolomit zona ini memiliki tipe alterasi argilik (Corbett and Leach, 1998). Zona smektit-illite-kaolinit dapat bertindak sebagai zona penudung (*caprock*) pada sistem panas

bumi di sumur RA karena kaya akan mineral lempung.

Salah satu contoh serbuk bor yang diamati untuk mewakili zona smektit-illit-kaolinit adalah lava andesit pada kedalaman 126-129 MD dengan karakteristik megaskopis umumnya memiliki warna abu-abu terang-gelap dan abu-abu kehijauan, didominasi fragmen lava andesit, dan bertekstur porfiritik-afanitik (Gambar 3a).

Hasil analisis mikroskopis diperoleh komposisi mineralogi yang terdiri dari mineral primer yaitu plagioklas 30%, amfibol 7%, piroksen 10%, kuarsa 3%, mineral opak 3%, dan massadasar berupa mikrolit plagioklas 15% dan gelas vulkanik 15%. Intensitas alterasinya *fresh* hingga teralterasi lemah menjadi mineral sekunder yaitu adalah karbonat 3%, oksida 2%, dan mineral lempung 12% (Gambar 3b).



Gambar 3. Lava andesit; (a) kenampakan megaskopis dan (b) kenampakan mikroskopis; massadasar fragmen batuan berubah menjadi mineral lempung, plagioklas berubah menjadi karbonat/Cb (I6)

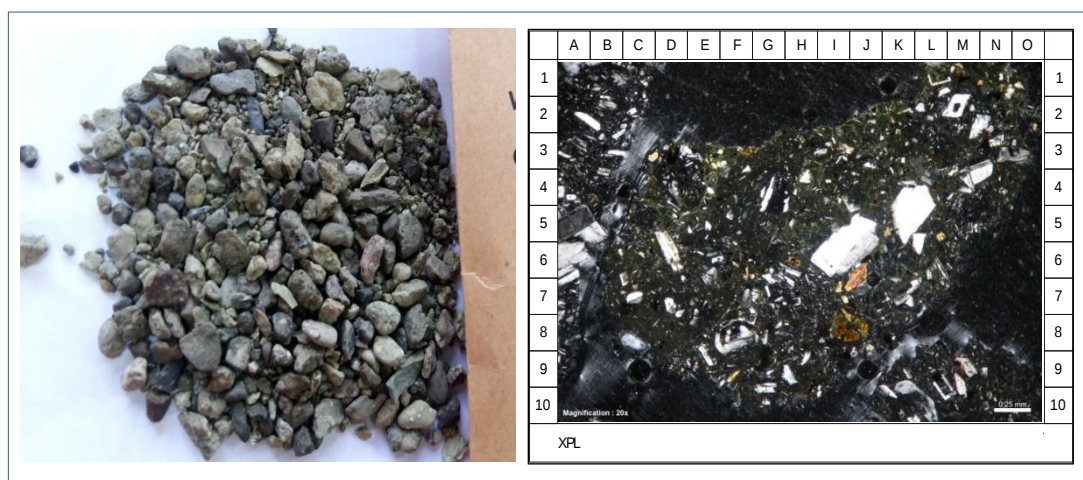
Contoh serbuk bor lainnya yang mewakili zona ini adalah tuf litik pada kedalaman 699-702 MD dengan karakteristik megaskopis umumnya memiliki warna abu-abu kehijauan dan didominasi oleh fragmen litik (Gambar 4a).

Hasil analisis mikroskopis diperoleh komposisi mineralogi yang terdiri dari mineral primer yaitu plagioklas 8%, amfibol 2%, piroksen 5%, mineral opak 5%, dan matriks berupa gelas vulkanik 5%. Intensitas alterasinya sangat kuat hingga

teralterasi sempurna menjadi mineral sekunder yaitu klorit

8%, karbonat 25%, kuarsa sekunder 7%, oksida 5%, dan mineral lempung 30% (Gambar 4b).

Kisaran temperatur pada zona ini berdasarkan geotermometer mineral alterasi smektit, kaolinit, dan kuarsa adalah 100°C – <200°C (Reyes, 1990). Zona ini diperkirakan terbentuk pada lingkungan berfluida asam mendekati netral



Gambar 4. Tuf litik; (a) kenampakan megaskopis dan (b) kenampakan mikroskopis; fragmen batuan berubah menjadi klorit/Chl (J2), fragmen batuan berubah menjadi karbonat/Cb (D5)

2. Zona Klorit-Smektit

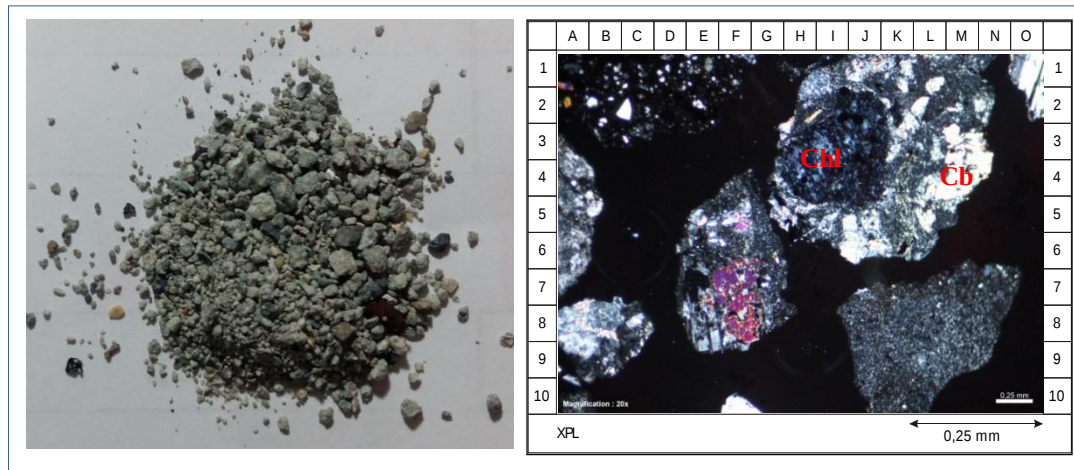
Zona ini terletak pada kedalaman 843-1150 MD pada litologi andesit dengan intensitas alterasi menjadi mineral klorit sekitar 28% dan mineral smektit sekitar 25%. Mineral yang terdapat pada zona klorit-smektit adalah klorit, karbonat, smektit, kalsit, kuarsa, plagioklas, dan magnetit (Tabel 2). Keterdapatannya mineral klorit dan mineral lempung pada zona ini menandakan bahwa zona klorit-smektit ini merupakan zona transisi dari tipe alterasi argilik yang merupakan zona penudung dengan tipe alterasi sub-propilitik (Corbett and Leach, 1998) yang diperkirakan sebagai zona reservoir pada sistem panas bumi sumur RA.

Contoh serbuk bor yang mewakili zona ini adalah andesit pada kedalaman 1131-1134

MD dengan karakteristik megaskopis umumnya memiliki warna abu-abu terang-gelap, coklat kemerahan, dan sedikit kehijauan, didominasi fragmen andesit, dan bertekstur porfiritik-afanitik (Gambar 5a).

Hasil analisis mikroskopis diperoleh komposisi mineralogi yang terdiri dari mineral primer plagioklas 15%, piroksen 2%, mineral opak 5%, dan massadasar berupa mikrolit plagioklas 3% dan gelas vulkanik 5%. Intensitas alterasinya sangat kuat menjadi mineral sekunder yaitu klorit 10%, karbonat 30%, kuarsa 7%, oksida 3%, dan mineral lempung 20% (Gambar 5b).

Kisaran temperatur pada zona ini berdasarkan geotermometer mineral alterasi klorit dan kalsit adalah lebih dari 200°C (Reyes, 1990). Zona ini diperkirakan terbentuk pada lingkungan berfluida asam netral.



Gambar 5. Andesit; (a) kenampakan megaskopis, (b) kenampakan mikroskopis; fragmen batuan terubah menjadi klorit/Chl (I3), plagioklas terubah menjadi karbonat/Cb (M4)

1.5. Korelasi Temperatur

Kisaran temperatur berdasarkan data pengukuran tekanan dan temperatur (landaian suhu) sumur RA pada setiap kedalaman diperoleh :

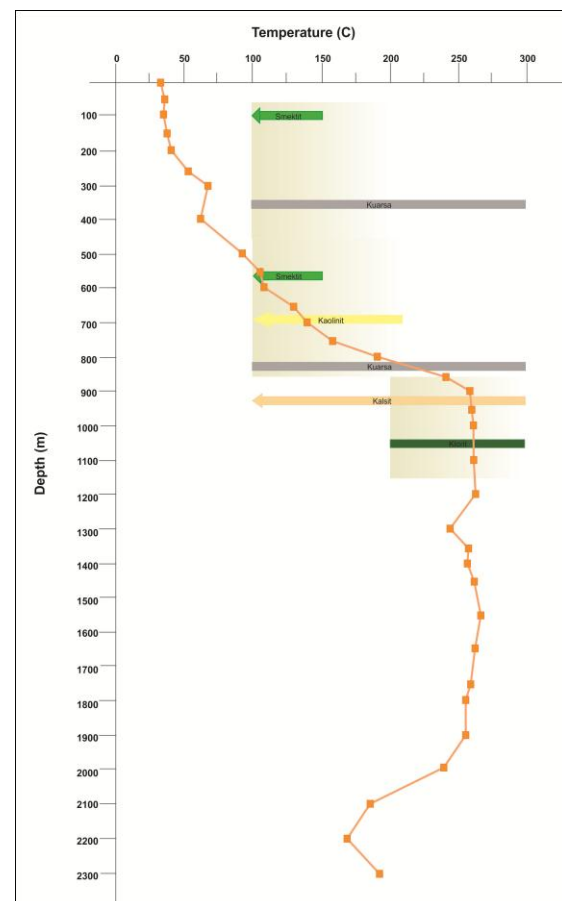
1. Kedalaman sumur 50 – 840 MD, temperatur 33°C – 167°C.
2. Kedalaman sumur 843 – 1150 MD, temperatur 167°C - 250°C.

Korelasi temperatur berdasarkan geotermometer mineral alterasi pada tiap zona dengan temperatur terukur sumur RA (Gambar 6) adalah :

1. Zona Smektit-Illit-Kaolinit; kisaran temperatur berdasarkan geotermometer mineral alterasi adalah 100°C – <200°C (Reyes, 1990) dan temperatur terukur sumur adalah 33°C – 167°C. Korelasi antara geotermometer mineral dan temperatur terukur mengindikasikan pada zona ini tidak adanya perbedaan yang signifikan karena keduanya saling beririsan.
2. Zona Klorit-Smektit; kisaran temperatur berdasarkan geotermometer mineral alterasi adalah >200°C (Reyes, 1990) dan temperatur terukur sumur adalah 167°C – 250°C. Korelasi antara geotermometer mineral dan temperatur terukur mengindikasikan terjadi *heating* pada zona ini semenjak terbentuknya mineral alterasi.

Korelasi keseluruhan pada sumur RA antara temperatur terukur sumur dan interpretasi temperatur alterasi hidrothermal menunjukkan pada sumur ini terjadi *heating* yang diduga dipengaruhi oleh adanya rekahan-rekahan

akibat sesar Cikakapa dan sesar Cibolang Besar yang dipotong oleh sumur RA. Keberadaan rekahan tersebut diperkirakan mengontrol permeabilitas reservoir dan penyebaran fluida panas pada sumur RA.



Gambar 6. Kurva diagram temperatur terukur sumur RA

Analisis nilai temperatur dari data temperatur terukur sumur dapat mengindikasikan keberadaan zona reservoir pada sumur produksi. Zona reservoir pada sumur RA diperkirakan berada pada kedalaman lebih dari >1000 MD karena adanya peningkatan temperatur disertai dengan mulai munculnya mineral alterasi bertemperatur tinggi seperti klorit pada zona transisi yang mencapai kedalaman 1150 MD.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada sumur RA di Wilayah Kerja Panasbumi (WKP) Wayang-Windu diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya adalah:

1. Litologi yang terdapat pada sumur RA adalah tuf kristal terubah, tuf litik terubah, andesit terubah, dan lava andesit terubah. Zona mineral alterasi berdasarkan kumpulan mineral alterasi pada sumur RA terbagi menjadi dua, yaitu zona smektit-illit-kaolinit yang termasuk ke dalam tipe alterasi argilik dan zona klorit-smektit yang termasuk ke dalam tipe alterasi sub-propilitik
2. Kisaran temperatur berdasarkan geotermometer mineral alterasi pada zona smektit-illit-kaolinit $100^{\circ}\text{C} - <200^{\circ}\text{C}$ dan pada zona klorit-smektit $>200^{\circ}\text{C}$. Sementara itu, berdasarkan data temperatur terukur kisaran temperatur pada zona smektit-illit-kaolinit adalah $33^{\circ}\text{C} - 167^{\circ}\text{C}$ dan pada zona klorit-smektit adalah $167^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$. Diperkirakan zona smektit-illit-kaolinit terbentuk pada lingkungan berfluida asam mendekati netral dan zona klorit-smektit terbentuk pada lingkungan berfluida netral berdasarkan mineral alterasi kaolinit, smektit, illit, klorit, kalsit, dan kuarsa sekunder.
3. Korelasi temperatur pada sumur RA antara temperatur terukur sumur dan interpretasi temperatur alterasi hidrothermal menunjukkan pada sumur ini terjadi *heating* yang diduga dipengaruhi oleh adanya rekahan-rekahan akibat sesar Cikakapa dan sesar Cibolang Besar yang dipotong oleh sumur RA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang mengizinkan penulis menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih kepada PT. Star Energy Geothermal Indonesia yang telah memfasilitasi dalam pelaksanaan penelitian dan memberikan izin untuk mempublikasikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, C., 1992, Peta Geologi Garut-Pameungpeuk, Jawa Barat (1208- 6), Skala 1:250.000, Pusat dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bogie, I., Mackenzie, K. M., 1998, *The Application of A Volcanic Facies Model To An Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal, System at Wayang Windu, Java, Indonesia*. In: Proceedings of the Twentieth New Zealand Geothermal Workshop, University of Auckland, pp. 265-270
- Bogie, I. et al., 2008. *Overview of the Wayang Windu geothermal field, West Java, Indonesia*. In : Geothermics 37 (2008) 347-365
- Browne, P.R.L., 1984. *Hydrothermal Alteration Lecture Notes*. Geothermal Institute. University of Auckland.
- Corbett, G. J., and Leach, T. M., 1998. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structures, Alteration, and Mineralization*: SEG Special publication number 6, USA, 236p.
- Freestone, D. H., dan Browne, P. R. L., 1994. *Teaching the Teachers; Geothermal Technology*, ITB Bandung.
- Hochstein, M.P., Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal Systems With Volcanic Heat Sources*. Editors: Haraldur Sigurdsson, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, pp.835-855.
- Reyes, Agnes G., 1990. *Petrology and Mineral Alteration in Hydrothermal Systems: From Diagenesis to Volcanic Catastrophes*. Reykjavik: United Nations University, Geothermal Training Programme.

- Hochstein, M.P., Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal Systems With Volcanic Heat Sources*. Editors: Haraldur Sigurdsson, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, pp.835-855.
- Reyes, Agnes G., 1990. *Petrology and Mineral Alteration in Hydrothermal Systems: From Diagenesis to Volcanic Catastrophes*. Reykjavik: United Nations University, Geothermal Training Programme.
- Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd, 2012. *Laporan Berkelanjutan Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd Tahun 2012*. Bandung. Jawa Barat.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. The Hague Martinus Hifhoff, vol. IA.
- UU Pasal 1 No. 27.2003 tentang Panas Bumi, PP59 Tahun 2007, UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi.