



HIDROGEOKIMIA AIR MANIFESTASI PANAS BUMI DI DAERAH CISOLOK – CISUKARAME, KABUPATEN SUKABUMI, PROVINSI JAWA BARAT

Mohamad Reza Abdillah^{1*}, Muhammad Aditio¹, M. Sidiq Alamsyah¹,
 Agus Didit Haryanto¹, Mega Fatimah Rosana¹
¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: mohamad13008@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Identifikasi hidrogeokimia manifestasi panas bumi dilakukan sebagai pendugaan potensi sistem panas bumi di daerah Cisolok – Cisukarame. Analisis geokimia kation-anion, analisis isotop, dan analisis petrografi guna mengetahui kondisi geologi dan manifestasi panas bumi. Hasil penelitian menunjukkan wilayah Cisolok – Cisukarame merupakan sistem panas bumi tipe vulkanik, dengan pemunculan manifestasi aliran lateral berupa air klorida dan sulfat klorida. Pemunculan manifestasi diakibatkan oleh struktur geologi sesar normal yang berkembang berarah Utara – Selatan. Manifestasi panas bumi yang hadir berupa mata air panas, geyser, kubangan lumpur panas, *steaming ground*, kolam air panas, deposit fosil travertin dan sinter silika yang berasosiasi dengan aktivitas hidrotermal saat ini. Hal tersebut menggambarkan kondisi reservoir sistem dua fasa dominasi air. *Geothermometer* panas bumi Cisolok – Cisukarame berkisar 150 – 214°C, dengan nilai hilang panas alamiah 19,6 MW. Sistem panas bumi Cisolok-Cisukarame dikategorikan sebagai sistem panas bumi bertemperatur sedang dengan sistem reservoir dominasi air berjenis air meteorik.

Kata kunci : Cisolok – Cisukarame, Hidrogeokimia, Manifestasi Panas Bumi.

ABSTRACT

The hydrogeochemical identification of geothermal manifestations is carried out as a potential forecasting of geothermal systems in the Cisolok - Cisukarame area. Analysis of cation-anion geochemistry, isotope analysis, and petrographic analysis used to determine geological and geothermal manifestations conditions. The results showed that Cisolok - Cisukarame was a volcanic type geothermal system, with the emergence of lateral flow manifestations in the form of water chloride and sulfate chloride. The appearance of manifestation is caused by the normal fault geological structure that develops north-south direction. Geothermal manifestations include hot springs, geysers, hot mud pools, steaming ground, hot water pools, travertine fossil deposits and sintered silica are associated with current hydrothermal activity. It describes the condition of the reservoir of two-phase system of water dominance. Geothermometer Cisolok - Cisukarame geothermometer range from 150 - 214 °C, with natural heat loss value 19,6 MW. The Cisolok-Cisukarame geothermal system is categorized as a moderately tempered geothermal system with a reservoir system of water dominance of the meteoric water type.

Keywords: Cisolok - Cisukarame, Hydrogeochemistry, Geothermal Manifestations.

1. PENDAHULUAN

Kondisi hidrogeokimia bawah permukaan dapat dipelajari dengan baik melalui manifestasi permukaan yaitu, karakteristik mata air panas dan batuan terubah (Hochstein dan Browne, 2000). Sistem

panas bumi Cisolok – Cisukarame terletak di Kecamatan Cisolok, Kabupaten Sukabumi. Eksplorasi prospek panas bumi telah dilakukan di Cisolok – Cisukarame sejak tahun 1970, namun pendugaan sumber panas belum dapat diidentifikasi

(Manfred P. Hochstein and Sudarman 2008). Cisolok – Cisukarama termasuk dalam wilayah kerja panas bumi (PT. Jabar Rekind Geothermal) tidak dikenal, dikarenakan minimnya publikasi (Fadillah, Nugraha, and Gumilar 2013). Aktivitas panas bumi pada daerah Cisolok – Cisukarama ditandai dengan adanya pemunculan manifestasi panas bumi serta alterasi permukaan pada S 06°53'31,5'' E 106°29'21,4'' dan S 6°56'00,1'' E 106°27'15,7''. Pemunculan manifestasi air panas dan alterasi yang terbagi menjadi dua wilayah yaitu Sungai Cisolok pada mendekati Pelabuhan Ratu dan 5 km sebelah Timurlaut terdapat manifestasi panas bumi Sungai Cisukarama (Gambar 1).

Penelitian ditujukan untuk mengetahui karakteristik sistem panas bumi melalui pengenalan dan identifikasi manifestasi permukaan, yaitu studi geologi (pemetaan litologi dan struktur), geokimia (analisis kation anion, *geothermometer*, isotop), petrografi. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2016, analisis sampel batuan dan

air dilakukan pada laboratorium Teknik Geologi Unpad dan Pusat Sumber Daya Batubara dan Panas Bumi.

2. METODE

Dalam kajian ini pengambilan data primer dilakukan melalui pemetaan geologi, pengambilan sampel batuan dan air. Pada tahapan selanjutnya identifikasi batuan dilakukan menggunakan mikroskop petrografi guna identifikasi mineral berdasarkan sifat optik, analisa geokimia air kandungan kation-anion menggunakan metode titrasi dan instrument, analisis isotop air pada unsur $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$.

2.1 Studi Terdahulu

Penelitian karaktersitik manifestasi sebagai pendugaan kondisi panas bumi di daerah Cisolok telah dilakukan oleh Wulandari Mandradewi dan Niniek Rina Herdianita dari Institut Teknologi Bandung. Studi difokuskan pada wilayah Cisolok menggunakan analisis geokimia, petrografi, dan XRD.

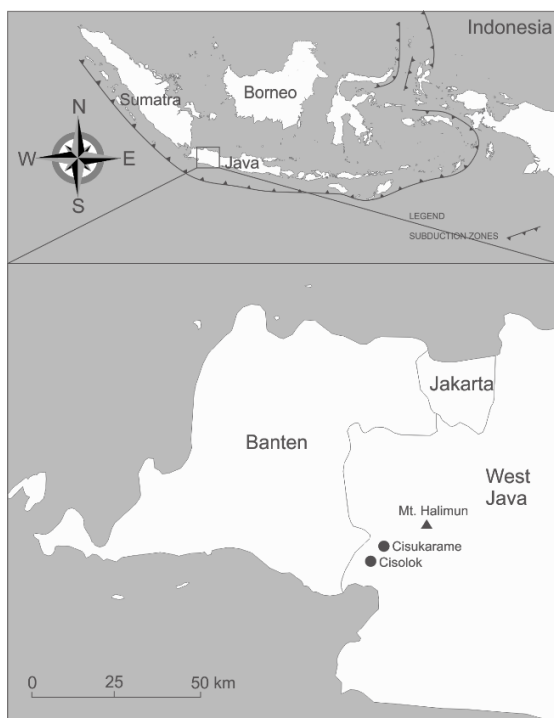
Pada penelitian yang dibahas dalam paper di perluas hingga wilayah Cisukarama, guna menyelidiki keterkaitan sistem panas bumi. Analisis isotop dan perhitungan hilang panas alamiah juga ditambahkan sebagai kajian lebih lanjut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Geologi

Geomorfologi daerah Cisolok – Cisukarama tersusun atas morfologi perbukitan yang dihasilkan oleh produk vulkanik dengan ketinggian 150 – 900 mdpl, dengan kelas lereng agak curam sampai terjal.

Menurut van Bemmelen (1949), fisiografi daerah penelitian termasuk dalam zona bandung yang tersusun atas dominasi produk vulkanik kuartar. Geologi daerah penelitian tersusun atas produk vulkanik, Kuartar dan batuan sedimen Tersier (Sujatmiko, 1992). Secara stratigrafi dan umurnya batuan yang tersingkap di daerah



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yang terletak di Provinsi Jawa Barat, Indonesia.

penelitian yaitu; batugamping (Tmtl) berumur Miosen Awal, diikuti terobosan intrusi dasit (Tmda) berumur Miosen Tengah, Tuf Citorek (Tpv) berbutir debu halus diendapkan pada Kala Pliosen, dan diakhiri endapan breksi vulkanik (Qbv) dan lava andesit (Qvl) pada Kala Holosen menindih tidak selaras Tuf Citorek. Struktur geologi yang terbentuk pada daerah penelitian adalah Timur Laut – Barat Daya dan Utara – Selatan, berdasarkan keberadaan cermin sesar pada Sungai Cikadu, dengan mekanisme sesar normal (*pitch* 85°). Sesar ini diinterpretasikan terbentuk pada Plio – Pleistosen, pada wilayah Cisukarame jejak struktur tidak dapat terlihat dikarenakan tertutup endapan vulkanik kuarter.

3.2 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi terbagi menjadi dua wilayah yaitu manifestasi Cisolak dan Cisukarame. Pada wilayah Cisolak terdapat manifestasi geyser (CS01, CS02) yang memancar dengan ketinggian sekitar 3 meter, dengan pH sekitar 8 dan suhu berkisar 93 – 98°C.

3.3 Alterasi Permukaan

Pada wilayah Cisolak alterasi permukaan sekitar manifestasi berupa endapan fosil travertine hadir membentuk lapisan setebal 5 – 60cm dan sinter silika. Pada bagian Utara sungai batuan terlaterasi sedang - kuat jenis kaolinit (argilik) diikuti bagian terluar menjauhi manifestasi batuan beku dasit teralterasi sedang jenis (propilitik) dengan dominasi mineral klorit, kalsit, mineral lempung.

Pada wilayah Cisukarame sekitar manifestasi dijumpai endapan travertin dan silika sinter menyelimuti batugamping teralterasi. Batugamping yang teralterasi merupakan *grainstone ooids* yang

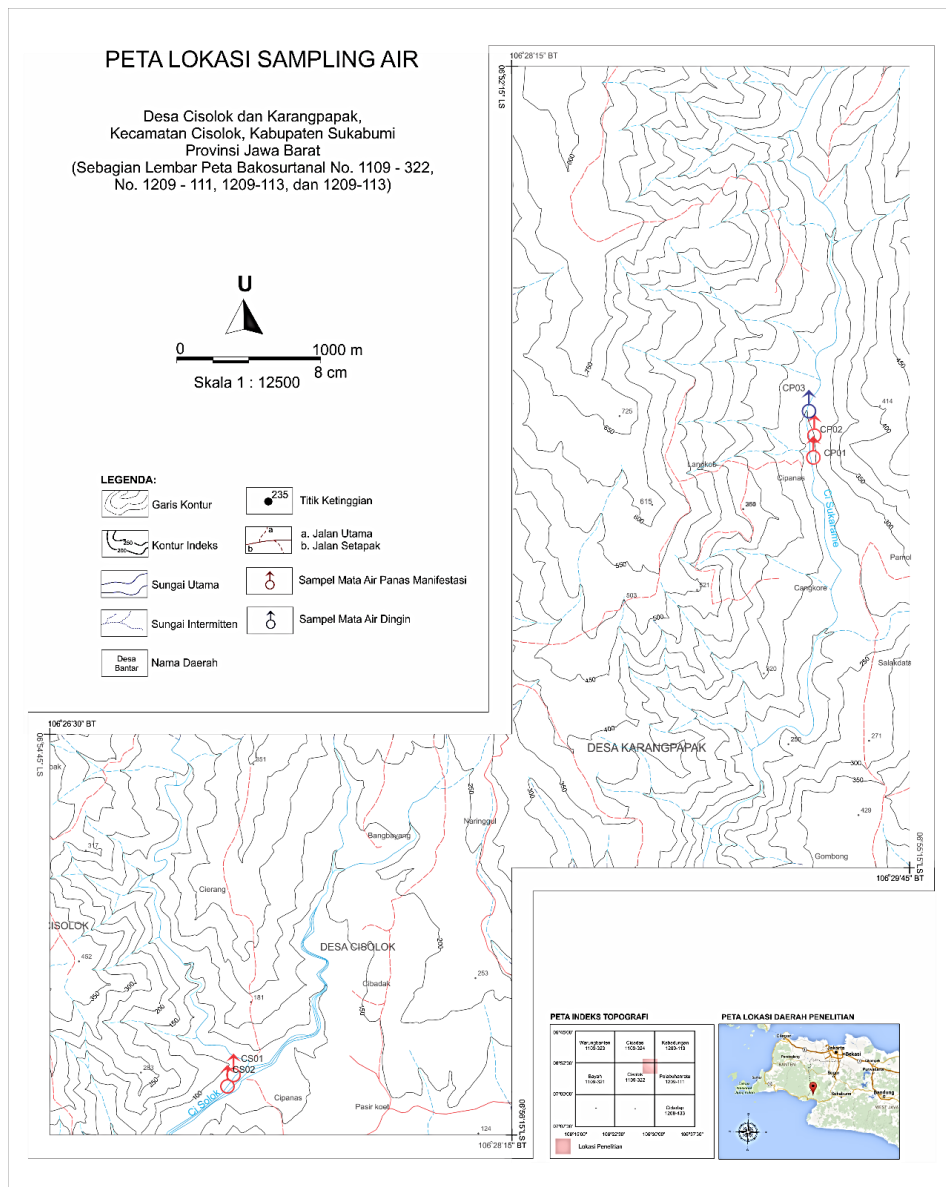
didominasi mineral chamosit dan siderit. Pada bagian Barat dan Utara Cisukarame didominasi oleh alterasi argilik dengan dominasi himpunan mineral lempung kaolinit - kuarsa dan mineral lempung lainnya mengalterasi batuan andesit secara sedang – kuat (Gambar 3).



Gambar 3. (A) Stasiun CS09 dominasi mineral klorit – kalsit, (B) stasiun CP07 dominasi mineral kaolinit – kuarsa.

Fosil Deposit travertin (CaCO_3) hadir membentuk lapisan – lapisan setebal 10–60 cm. Keberadaannya mengindikasikan adanya mata air bikarbonat, dan sistem reservoir dengan suhu dibawah 150°C, merupakan penciri sistem panas bumi dua fasa dominasi air (Nicholson 1993). Pemunculan travertin diakibatkan pengeluaran CO_2 sehingga terjadi presipitasi travertin (Özkul, 2002). Travertin yang muncul membentuk struktur *crustiform*, *colloform*, *comb*, *breccia*.

Deposit sinter silika hadir membentuk endapan setebal 1-2cm menutupi batuan sekitar. Terbentuk akibat presipitasi silika pada reservoir yang dibawa oleh air klorida, mengindikasikan suhu reservoir lebih dari 200°C (Nicholson 1993). Sinter silica berasosiasi dengan aktivitas hidrotermal saat ini.



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel mata air panas dan mata air dingin di daerah Cisolok – Cisukrame.



Gambar 4. (A) Kenampakan jauh, (B) kenampakan dekat, (C) Sinter silika di stasiun CP03

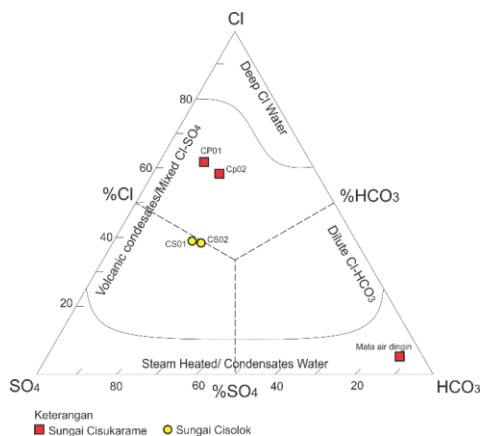
3.4 Geokimia

Sampel geokimia dilakukan pada manifestasi mata air panas Cisukarama (CP01,CP02), geyser Cisolok (D2CS01,D2CS02) serta mata air dingin Sungai Cisukarama (Gambar 5).

3.4.1 Jenis Fluida

Air Klorida

Air klorida terdapat pada manifestasi mata air panas Cisukarama (CP01,CP02).



Gambar 5. Diagram Cl - SO₄²⁻ - HCO₃⁻ (modifikasi Giggenbach, 1988 dalam Nicholson, 1993)

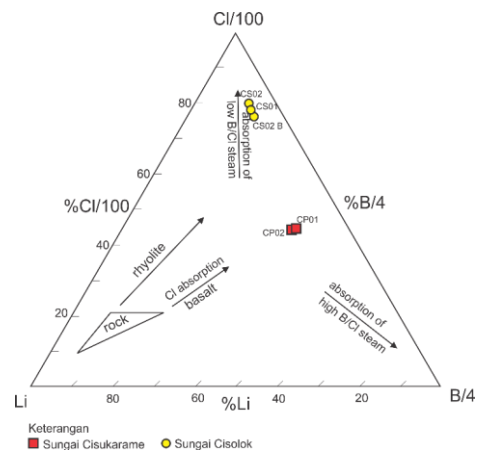
Air klorida merupakan fluida panas bumi yang berasal dari reservoir, dengan kenampakan berupa kolam berwarna jernih kehijauan dan terdapat endapan sinter silika (Gambar 5).

Air Sulfat – Klorida

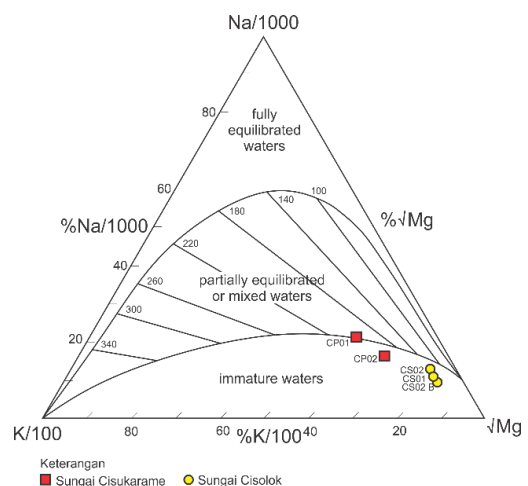
Tipe fluida ini terdapat pada manifestasi geyser Sungai Cisolok. Air sulfat terbentuk pada daerah dengan muka air tanah yang dekat dengan permukaan (<100m) (Nicholson,1993) terbentuk karena adanya oksidasi H₂S menjadi H₂SO₄.

3.4.2 Penentuan Asal Fluida

Hasil diagram ternary (Gambar 6) menunjukkan bahwa manifestasi menunjukkan fluida pada stasiun



Gambar 6. Diagram ternary Cl–Li–B (modifikasi Giggenbach, 1988 dalam Nicholson, 1993).



Gambar 7. Diagram ternary Na–K–Mg (modifikasi Giggenbach, 1988 dalam Nicholson, 1993).

Cisukarame diantara dominasi Cl dan B sedangkan wilayah Cisolok yang relatif kearah Cl. Konsentrasi Li dibawah 20 mg/L diasumsikan batuan reservoir merupakan didominasi batuan beku, batuan vulkanik.

Rasio Cl/B digunakan sebagai indikasi kesamaan reservoir (Nicholson 1993) berdasarkan hal itu dapat diasumsikan wilayah Cisolok dan Cisukarame memiliki kondisi reservoir yang berbeda dimana rasio Cl/B manifestasi wilayah Cisukarame memiliki konsentrasi sekitar 26 mg/L sedangkan Cisolok memiliki konsentrasi sekitar 130 mg/L. Konsentrasi Li pada wilayah Cisukarame berkisar diatas 1 mg/L yang diasumsikan kondisi reservoir disusun batuan andesitik, sedangkan pada wilayah Cisolok konsentrasi Li berkisar dibawah 1 mg/L diasumsikan kondisi Cisolok dipengaruhi oleh batuan sekitar yaitu batugamping yang relatif lebih basa. Rasio B/Li akan meningkat seiring dengan jauhnya transportasi fluida panas bumi (Nicholson 1993).

3.5.3 Geothermometer Na – K – Mg

Hasil analisis geothermometer Na – K – Mg (Gambar 7) didapatkan stasiun CP01 fluida berada pada fase partial quilibrium dengan suhu (180 – 220)°C , pada stasiun CP02 merupakan *immature water* berada pada suhu 180 – 220°C. Pada stasiun D2CP01 merupakan immature water berada pada suhu 140 – 160 °C. Rasio Na / K yang kurang dari 15 mg/L merupakan indikasi bahwa fluida yang berada di permukaan mengalami transportasi dalam waktu cepat, hal ini dimungkinkan oleh kehadiran struktur geologi sebagai media migrasi fluida menuju permukaan.

Kandungan Mg yang melebihi 0.1 mg/L diindikasikan bahwa telah terjadi reaksi pencucian (*leaching*) Mg dari batuan sekitar atau pelarutan tanah yang relatif memiliki konsentrasi Mg tinggi. Rasio Cl/Mg melebihi 10 mg/L mengindikasikan tidak adanya proses pencampuran (*mixing*) fluida dengan air laut.

3.5 Geothermometer

3.5.1 Geothermometer Silika

Tabel 1. Geothermometer silika (Fournier 1977)

Stasiun	CP01	CP02	D2CS01	D2CS02	D2 CS 02
T°C	175.11	161.54	152.54	154.73	150.53

3.5.2 Geothermometer Na – K

Tabel 2. Geothermometer dengan persamaan Fournier(1979) dan Giggenbach(1988).

Metode	(T°C) CP01	(T°C) CP02	(T°C) D2CS01	(T°C) D2CS02	(T°C) D2CS02
(Fournier,1979)	197.95	197.26	147.64	146.48	151.45
(Giggenbach,1988)	214.53	213.88	166.85	165.73	170.49

3.5.4 Suhu Reservoir

Berdasarkan analisis data geothermometer pada manifestasi didapatkan kisaran suhu reservoir rata – rata 175 – 214°C (Tabel 1) (Tabel 2). Maka, sistem panas bumi Cisolok – Cisukarame dapat dikategorikan sebagai sistem panas bumi bertemperatur sedang (125 – 225)°C (Hocstein,1990).

3.6 Analisis Isotop

Hasil analisis kandungan isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$, kemudian dibandingkan dengan garis meteorik lokal dan garis meteorik global didapatkan visualisasi data berdekatan dan searah dengan garis meteorik lokal (Gambar 8), hal ini mengindikasikan bahwa air panas dari manifestasi Cisukarame berasal dari air meteorik. Terlihat pengurangan (*depleted*) komposisi $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ bila dibandingkan dengan garis meteorik lokal, yang diakibatkan oleh proses penguapan (*vaporization*) (Du et al. 2005). Berdasarkan analisis jenis air, manifestasi yang dihasilkan merupakan air panas tipe klorida dari reservoir sehingga dapat diinterpretasikan bahwa air reservoir

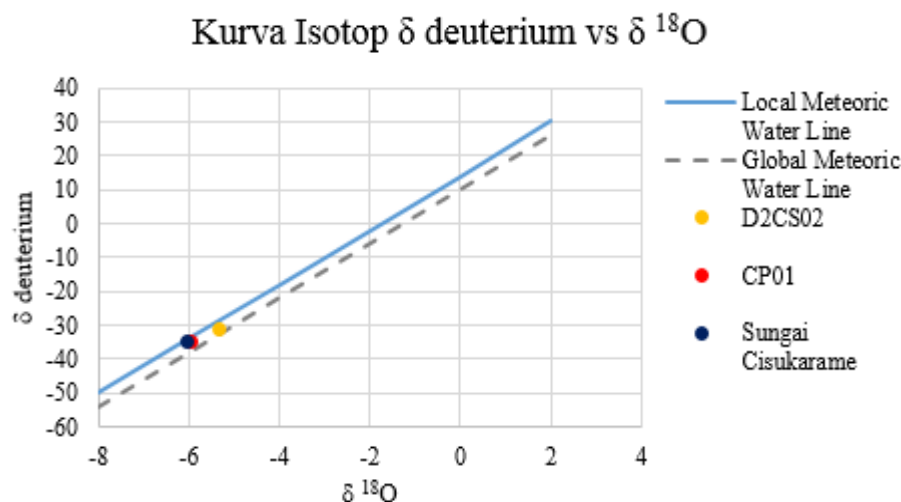
meteorik pada reservoir diinterpretasikan sebagai sistem panas bumi yang relatif tua karena telah mengalami interaksi secara intensif sehingga fluida meteorik dapat mendominasi. Lalu kesamaan kandungan isotop dengan mata air dingin (Sungai Cisukarame) dapat diinterpretasikan air meteorik yang berada pada reservoir berasal dari *run off* fluida pada wilayah yang sama, dengan kontrol struktur geologi sebagai *recharge*.

3.7 Hilang Panas Alami

Berdasarkan pengukuran data debit air, suhu air, dan udara (Tabel 3) dapat dilakukan pengukuran hilang panas alamiah (*natural heat loss*) yang digunakan sebagai estimasi potensi energi. Pengukuran hilang panas alamiah dilakukan pada kolam air panas yang berada pada stasiun CP01 dan CP02 Cisukarame menggunakan rumus Hilang Panas Alamiah Hocstein (1994);

$$Q = m (hfT - hfT_0) = m c (T -$$

Berdasarkan analisis hilang panas alamiah pada manifestasi mata air panas di



Gambar 8. Kurva hubungan $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$

memiliki fluida yang berasal dari air meteorik, keberadaan dan pengkayaan air

Sungai Cisukarame didapatkan potensi panas bumi sekitar 19,6 MW.

Tabel 3. Data pengukuran debit, suhu air panas, suhu udara lapangan.

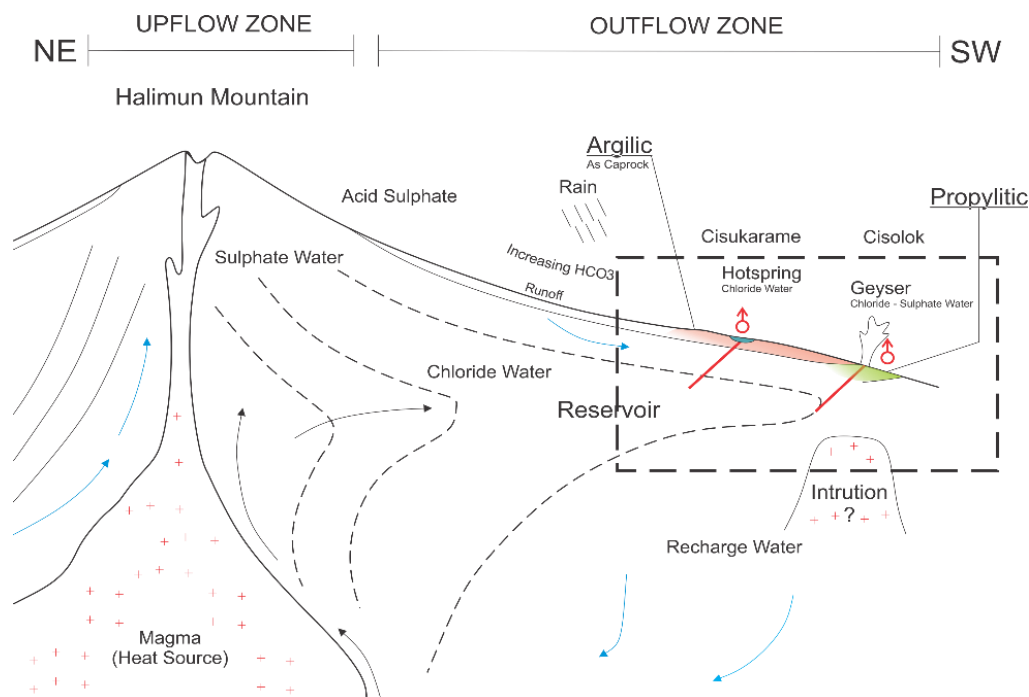
Sampel	Debit (L/s)	T (°C)	T ₀ (°C)
CP01	1.94	98.2	26
CP02	69.3	92.6	27

3.8 Sistem Panas bumi Cisolok – Cisukarame

Kondisi sistem panas bumi bawah permukaan dapat dipelajari melalui manifestasi panas bumi di permukaan (Hochstein and Browne, 2000). (Gambar 9). Pemunculan manifestasi panas bumi dipermukaan diakibatkan adanya struktur geologi sebagai jalur migrasi fluida hal ini dapat terlihat pada pola persebaran

– Selatan pada sungai Cikadu. Kekar – kekar yang berkembang disekitar manifestasi menunjukkan dominasi (σ_2) mendekati zenith di interpretasi sebagai sesar mendatar. Pemunculan manifestasi di wilayah Cisolok – Cisukarame diinterpretasikan akibat relief yang tinggi sehingga fluida mencari wilayah dengan perkembangan struktur geologi yang baik yaitu pada satuan batugamping (Tmtl).

Zonasi alterasi yang terjadi terbagi menjadi dua yaitu dominasi mineral klorit – kalsit – lempung disekitar manifestasi yang dibandingkan dengan al-terasi tipe propilitik (Corbett dan Leach, 1998). Tipe alterasi ini sesuai dengan proses aktivitas hidrotermal saat ini dimana berdasarkan dominasi mineralnya memiliki karakteristik pH netral dengan stabilitas suhu 150 – 200°C, hal ini di-interpretasikan sebagai pengaruh aktivitas fluida klorida yang bersifat netral. Selanjutnya tiper alterasi kaolinit – kuarsa – lempung berada



Gambar 9. Pemodelan penampang sistem panas bumi Cisolok – Cisukarame berarah Timur Laut – Barat Daya.

manifestasi serta kelurusan pada citra satelit yang menggambarkan pola kelurusan Utara – Selatan dan Timurlaut – Tenggara, hal ini didukung dengan adanya struktur geologi Sesar Normal Cisolok berarah relatif Utara

menjauhi manifestasi yang dibandingkan dengan alterasi tipe argilik (Corbett dan Leach, 1998). Tipe alterasi ini diinterpretasikan sebagai hasil akhir dimana kontrol cuaca lebih domi-nan dan

diendapkannya larutan jenuh silika. Sehingga karakteristik pH asam dan stabilitas suhu mineral lebih rendah <150 - 200 °C.

Hasil analisis geothermometer sistem panas bumi daerah Cisolok–Cisukame diklasifikasikan dalam sistem panas bumi bertemperatur sedang 125 – 225°C (Hocstein,1990). Berdasarkan pemunculan manifestasi geyser dan sinter silika fluida pada reservoir sistem panas bumi merupakan sistem dominasi air (*water dominated system*) (Nicholson, 1993). Pemunculan manifestasi mata air tipe klorida menandakan bahwa daerah Cisukame merupakan wilayah *lateral flow* merupakan hasil langsung dari reservoir hal ini didukung dengan adanya manifestasi sinter silika sebagai endapan jenuh dari fluida reservoir. Sedangkan semakin kearah Barat Daya manifestasi yang muncul pada wilayah Cisolok merupakan air sulfat–klorida. Berdasarkan analisis geokimia kandungan Cl⁻ lebih rendah akibat pencampuran air permukaan meningkat. Kandungan SO₄ lebih tinggi dari wilayah Cisukame, diperkirakan kandungan sulfat yang ada dihasilkan akibat pengaruh batuan sekitar yang mengandung pirit. Perbedaan kimia air tersebut mengindikasikan adanya perubahan karakteristik air dimana semakin kearah Cisolok kontrol air permukaan semakin meningkat, sehingga dapat diinterpretasikan sumber panas berasal mendekati arah Cisukame. Kondisi manifestasi *lateral flow* menunjukan migrasi fluida yang jauh sehingga sumber panas dapat berasal dari aktivitas magmatik Gunung Halimun yang berada pada bagian Timurlaut daerah penelitian. Selain itu kemungkinan lainnya berdasarkan kondisi geologi dipermukaannya diasumsikan sumber panas berasal dari intrusi andesit (Qvl) dan dasit (Tmda) yang masih aktif.

Analisis isotop memperlihatkan kemiripan karakteristik fluida $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dengan air meteorik local, diinterpretasikan dominasi air meteorik mengontrol reservoir. Berdasarkan hal tersebut,

diasumsikan sumber air berasal dari wilayah Gunung Halimun sebagai *run off* lalu masuk melalui sesar - sesar yang berkembang sebagai sumber *recharge area*.

4. KESIMPULAN

Geologi Cisolok – Cisukame didominasi oleh produk vulkanik Kuartar breksi vulkanik dan lava andesit yang menutupi batuan Tersier batugamping diikuti terobosan dasit dan tuf. Pemunculan manifestasi diinterpretasikan akibat struktur yang sesar normal yang berarah sekitar Utara – Selatan.

Manifestasi mata air panas Cisolok – Cisukame secara umum memiliki suhu berkisar 92 – 98°C, dengan pH mendekati netral. Manifestasi permukaan yang muncul merupakan manifestasi *lateral flow*, yang diasumsikan berasal dari kompleks Gunung Halimun.

Sistem panas bumi Cisolok – Cisukame termasuk dalam sistem panas bumi entalpi sedang dengan pendugaan suhu reservoir berdasarkan geothermometer berkisar 150 – 214°C. Reservoir tersusun atas air meteorik. Estimasi potensi sistem panas bumi melalui hilang panas alamiah sekitar 19,6 MW.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kepada ALLAH SWT. yang telah mengizinkan penulis menyelesaikan penelitian ini. Terimakasih kepada Academic Leadership Grant (ALG) Universitas Padjadjaran yang telah mensukseskan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Corbett, G. J., and T. M. Leach. 1998. "Southwest Pacific Rim Gold–copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization." *Society of Economic Geologists Special Pu*(May 1997): 236.
- Du, Jianguo et al. 2005. "Variations of Geothermometry and Chemical-

- Isotopic Compositions of Hot Spring Fluids in the Rehai Geothermal Field, {Bibliography}Southwestern China.” *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 142(3–4): 243–61.
- Fadillah, Achmad, Tubagus Nugraha, and Jemmi Gumilar. 2013. “West Java Geothermal Update.” *38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*: 1–8.
- Fournier, R. O. 1977. “Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems.” *Geothermics* 5(1–4): 41–50.
- Hochstein, Manfred P., and Sayogi Sudarman. 2008. “History of Geothermal Exploration in Indonesia from 1970 to 2000.” *Geothermics* 37(3): 220–66.
- Hochstein, Manfred P, and Patrick R L Browne. 2000. “Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources.” *Encyclopedia of volcanoes*: 835–55.
- Hochstein, M P. 1990. “Classification and Assessment of Geothermal Resources.” *Small geothermal resources: A guide to development and utilization, UNITAR, New York*: 31–57.
- Nicholson, Keith. 1993. “Geothermal Fluids, Chemistry & Exploration Techniques.” *Berlin: Springer Verlag, Inc.*: 1–18.
- Özkul, Mehmet, Baki Varol, and M. Cihat Alçiçek. 2002. “Depositional Environments and Petrography of Denizli Travertines.” *Mineral Res. Expl. Bul.* 125: 13–29.
- Sujatmiko, Santosa. 1992. “Geological Map of the Leuwidamar Quadrangle, Java.” *Geological Research and Development Centre of Indonesia, Bandung*.