



**KARAKTERISTIK AIR PANAS DAN ESTIMASI TEMPERATUR
RESERVOAR DAERAH CISOLOK - CISUKARAME, KABUPATEN SUKABUMI,
PROVINSI JAWA BARAT**

Rofina Masriat*, Agus Didit Haryanto¹, Johanes Hutabarat¹,
Dewi Gentana¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

*Korespondensi: rofinal6001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Daerah Cisolok dan Cisukarame, Kecamatan Cisolok, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat dipilih sebagai daerah penelitian dikarenakan terdapatnya manifestasi panas bumi, diperkirakan dari suatu sistim panas bumi. Sifat fisik dan data kimia panas bumi merupakan informasi penting mengenai kondisi *reservoir*. Sifat fisik mata air panas Cisolok –Cisukarame memiliki pH; 8 (basa), temperatur: 90°-98°C. Berdasarkan hasil plotting diagram segitiga Cl –SO₄ – HCO₃ memiliki tipe air: Klorida-Sulfat-Bikarbonat, kemunculan mata air panas daerah Cisolok di permukaan dipengaruhi oleh kondensasi aktifitas magmatik, sedangkan daerah Cisukarame berasal dari air *reservoir* yang bergerak jauh lateral menjauhi sumber panas. Mata air panas Cisolok merupakan *immature waters*, Cisukarame merupakan *partially equilibrated or mixed waters*. Terdapatnya kandungan Mg yang tinggi pada daerah Cisolok – Cisukarame menunjukkan saat fluida dari *reservoir* bergerak ke permukaan mengalami pencampuran dengan air permukaan yang kaya Mg (Nicholson, 1993). Mata air panas Cisolok pada posisi “Low B/Cl steam and low Li/B, sedangkan CSK-1, CSK-2 “high B/Cl steam” and high B/Li, diinterpretasikan Cisolok dan Cisukarame memiliki sistem *reservoir* yang berbeda, rasio Cl/B yang lebih rendah merupakan sistem yang lebih tua (Giggenbach, 1991). Berdasarkan tipe fluida, hadirnya endapan sinter silika dan *geyser* mata air panas memiliki sistim dominasi air. Hasil perhitungan geotermometer air, estimasi temperatur *reservoir* berkisa dari 139°-167°C (Cisolok) dan 178°-196°C (Cisukarame). Kedua daerah tersebut termasuk sistim reservoir bersuhu sedang (Hocstein, 1990).

Kata kunci : Fluida panas bumi, geotermometer, Cisolok – Cisukarame

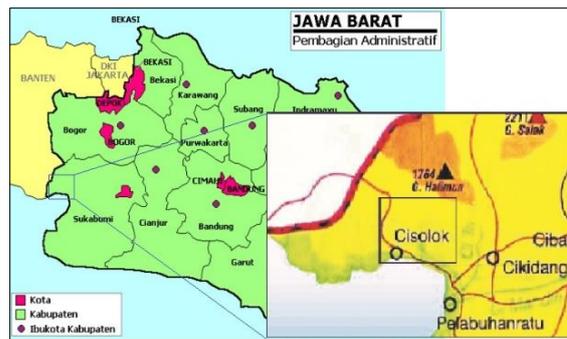
ABSTRACT

The Cisolok and Cisukarame areas, Cisolok Subdistrict, Sukabumi Regency, West Java Province were selected as research areas due to the presence of geothermal manifestations, estimated from a geothermal system. Physical properties and geothermal chemical data are important information regarding reservoir conditions. The physical properties of the Cisolok-Cisukarame hot spring have a pH; 8 (alkaline), temperature: 90°-99,1°C. Based on the results of the Cl -SO₄ - HCO₃ triangular diagram plot, it has a water type: Chloride-Sulfate-Bicarbonate, the appearance of hot springs in the Cisolok area on the surface is influenced by condensation of magmatic activity, while the Cisukarame area comes from a reservoir of water that moves far laterally away from the heat source. Cisolok hot springs are immature waters, Cisukarame is partially equilibrated or mixed waters. The presence of high Mg content in the Cisolok - Cisukarame region shows that when fluid from the reservoir moves to the surface it is mixed with Mg-rich surface water (Nicholson, 1993). Hot springs Cisolok in the position of "Low B / Cl steam and low Li / B, while CSK-1, CSK-2" high B / Cl steam "and high B / Li, interpreted Cisolok and Cisukarame have different reservoir systems, the lower Cl / B ratio is an older system (Giggenbach, 1991). Based on the type of fluid, the presence of silica sintered deposits and geysers of hot springs has a system of water dominance. The results of the calculation of the water geothermometer, the estimated reservoir temperature ranges from 139°-167°C (Cisolok) and 178°-196°C (Cisukarame). Both of the areas as the moderate temperature reservoir systems (Hocstein, 1990).

Keywords: Geothermal Fluid, Geothermometer, Cisolok-Cisukarame.

1. PENDAHULUAN

Indonesia secara geologi berada di zona konvergen antara lempeng Samudera Hindia dan Eurasia Lempeng Kontinental. Zona konvergen ini merupakan seismik aktif dengan banyak gunung berapi aktif. Sekitar 13% dari gunung berapi aktif di dunia berada di Indonesia membentuk jalur rangkaian gunungapi, dikenal dengan cincin api (*ring of fire*). Indonesia memiliki sekitar 40% dari potensi panas bumi dunia atau setara dengan 29.000 MW, namun baru $\pm 7\%$ dari potensi yang diidentifikasi yang digunakan. Panas bumi daerah Cisolok Cisukarame terletak di Kecamatan Cisolok, Kabupaten Sukabumi. Aktifitas panas bumi yang terjadi di daerah Cisolok – Cisukarame ditandai dengan munculnya manifestasi panas bumi pada S $06^{\circ}53'30''$ E $106^{\circ}27'00''$ dan S $6^{\circ}56'00''$ E $106^{\circ}29'30''$. Pemunculan manifestasi panas bumi terdapat pada dua daerah yaitu Sungai Cisolok pada mendekati Pelabuhan Ratu dan 6 km sebelah Timurlaut terdapat manifestasi panas bumi yaitu Sungai Cisukarame (Gambar 1). Tujuan dari penelitian untuk mengetahui karakteristik sistem panas bumi sehingga mengetahui tipe, asal fluida panas bumi, kondisi reservoir yang digunakan untuk menghitung perkiraan temperature (reservoir) Penelitian dilakukan pada bulan Januari 2020, menggunakan dua tahapan yaitu lapangan dan studio. Di lapangan dilakukan pengamatan terhadap kemunculan mata air panas, sedangkan di studio dilakukan analisis oleh pada laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral dan Batubara (PSDMBP).



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

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

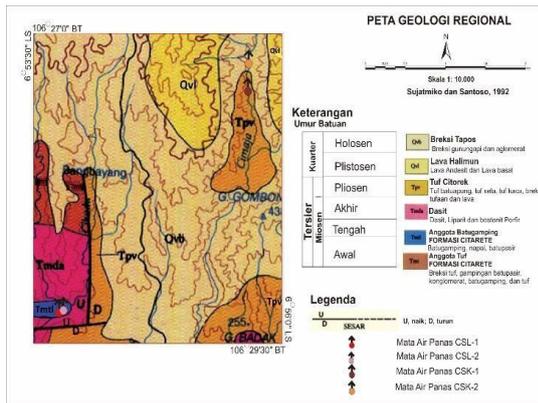
Daerah penelitian secara fisiografi termasuk dalam zona pegunungan Bayah menempati sebelah barat zona Bandung yang tersusun atas dominasi produk vulkanik kuartar (Van Bemmelen, 1949).

Berdasarkan peta geologi regional lembar Leuwidamar oleh Sujatmiko dan Santoso, 1992, daerah penelitian tersusun atas 6 (Enam) satuan batuan (Gambar 2) yang berumur dari muda sampai tua yaitu:

- Breksi Tapos (Qvb), berupa breksi gunungapi yang terdiri dari andesit basalt dan aglomerat, berumur Miosen Akhir.
- Lava Halimun (Qvl), berupa endapan gunungapi, terdiri dari aliran lava, berumur Plistosen.
- Tuff Citorek (Tpv), berupa endapan epiklastik, terdiri dari batugamping-dan dasit, berumur Pliosen.
- Dasit (Tmda), terdiri dari dasit, liparit, bostonit porfir, berumur Miosen Akhir.
- Anggota Tuf Formasi Citarate (Tmt), terdiri dari breksi tuf gampingan, tuf, batupasir, konglomerat, batugamping, berumur Miosen Awal.
- Anggota Batugamping Formasi Citarate (Tmtl), terdiri dari batugamping, napal dan batupasir, berumur Miosen Awal.

Di daerah penelitian ditemukan struktur disungai Cikadu berupa cermin sesar yang

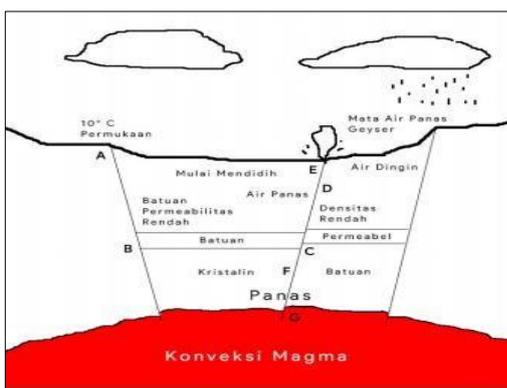
berarah Utara-Selatan (Abdilah,dkk 2017).



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian lembar Leuwidamar (Sujatmiko dan Santoso, 1992).

2.2 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi merupakan suatu sistem panas dari dalam perut yang keluar ke permukaan secara alami dalam volume tertentu, sumber panas ini berasal dari dapur magma, tubuh intrusi, atau panas akibat dari proses pembebanan (M P Hochstein & Caldwell, 1985). Reservoir panas bumi merupakan tempat penyimpanan fluida panas yang memiliki porositas serta permeabilitas yang baik untuk mengalirkan fluida panas (Hochstein, 1988). Fluida panas bumi merupakan suatu media penghantar panas dari sumber panas ke permukaan bumi. Fluida panas dapat berupa fluida panas (*hot water*) ataupun uap panas (*steam*) (Zuhro, 2004).



Gambar 3. Skema Sitem Panas Bumi (Boden,2016)

2.3 Geokimia Air Panas

2.3.1 Tipe Air Panas

Nicholson (1993) membagi tipe air panas berdasarkan kandungan anion yang dominan yaitu anion Cl , SO_4 dan HCO_3 .

- Air sulfat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panas bumi pada air permukaan. Hidrogen Sulfida (H_2S) yang terdapat dalam uap air panas tersebut mengalami oksidasi menjadi sulfat. Mata air panas bertipe sulfat biasanya berasal dari reservoir dangkal, memiliki pH rendah, kandungan klorida rendah dan kandungan sulfat yang tinggi.
- Air klorida merupakan tipe fluida panas bumi dalam (*deep geothermal fluid*), umumnya ditemukan pada sistem panas bumi bertemperatur tinggi. Mata air panas dengan tipe air klorida ini memiliki temperatur tinggi, rasio yang besar, Cl/SO_4 tinggi, pH 5-9 (agak asam sampai alkali) dan memiliki kandungan klorida yang tinggi yang berasal dari reservoir.
- Air bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas kedalam air permukaan yang minim oksigen. Tipe air panas ini terdiri dari dua jenis yaitu jenis pertama yang memiliki kandungan klorida (Cl) dan bikarbonat (HCO_3) tinggi.
- Air sulfat klorida merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat pencampuran air klorida dan air sulfat dimana hidrogen sulfida (H_2S) dalam air klorida teroksidasi menjadi ion sulfat (SO_4^{2-}). Kandungan Cl^- dan SO_4^{2-} cukup tinggi, dengan pH kurang dari 2-5. Penyebab lainnya adalah kontak air alkali klorida dengan batuan yang

mengandung sulfur

- Air *dilute* klorida bikarbonat terbentuk akibat adanya interaksi air klorida dengan air tanah (air bikarbonat) yang selama perjalanannya ke permukaan relarif lateral. Tipe air panas ini umumnya memiliki pH mendekati netral yaitu 6 - 8 dengan klorida sebagai anion utama dan adanya kehadiran bikarbonat dengan konsentrasi yang bervariasi.

Diagram segitiga Cl – SO₄ – HCO₃ oleh Giggenbach (1988) dapat digunakan untuk mengetahui tipe air panas.

2.3.1 Asal Air Panas

Suatu fluida panas bumi dapat berasal dari air meteorik yang keluar kepermukaan melalui zona permeabel. Untuk mengetahui asal air panas dan menentukan zona *upflow* dan zona *outflow* dari sebuah sistem panas bumi dapat menggunakan diagram Cl-Li-B (Giggenbach, 1988).

2.3.2 Kesetimbangan Reservoir Panas Bumi

Diagram ternary segitiga dari Na-K/Mg ditunjukkan oleh (Giggenbach, 1988) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk pendugaan temperatur *reservoir* dan untuk mengetahui air yang mencapai kesetimbangan dalam litologi.

2.3.3 Geoindikator

Geoindikator merupakan metode untuk menentukan zona *upflow* dan *outflow* pada sistem panas bumi. Zat - zat terlarut dibagi dalam dua kategori yaitu geoindikator dan *tracer* (Giggenbach, 1991). *Tracer* secara geokimia bersifat *inert* yang artinya akan sulit bereaksi dengan senyawa lain dan apabila berada dalam fluida panas bumi akan bersifat tetap dan dapat di lacak asal usulnya. Geoindikator adalah zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium atau

kesetimbangan.

2.3.4 Geotermometer

Geotermometer merupakan metode untuk memperkirakan temperatur reservoir panas bumi berdasarkan keberadaan zat - zat terlarut pada fluida panas bumi, dimana konsentrasi dari fluida tersebut sangat bergantung pada temperatur. Faktor pertimbangan pemilihan geotermometer antara lain adalah jenis manifestasi yang berupa air panas dengan temperatur mata air panas yang relatif tinggi, dan tipe air panas yang termasuk air klorida atau *geothermal* air.

Beberapa geotermometer air yang digunakan dalam perhitungan untuk perkiraan temperatur bawah permukaan di daerah penelitian, yaitu:

- Geotermometer Silika

Geotermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur. Reaksi yang menjadi dasar pelarutan silika dalam air adalah $\text{SiO}_2(\text{s}) - 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$.

- Geotermometer Na-K

Geotermometer Na-K merupakan respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperatur fluida. Perhitungan geotermometer Na - K dapat di terapkan untuk reservoir air klorida dengan $T > 180 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Geotermometer Na-K- Ca

Geotermometer Na - K - Ca diterapkan untuk air yang memiliki konsentrasi Ca tinggi. Geotermometer ini bersifat empiris dengan landasan teori yang belum dapat dipahami secara sempurna (Giggenbach, 1988). Batasan teori untuk termometer ini adalah *equilibrium* antara Na dan K Feldspar serta konversi mineral kalsium aluminium silikat misalnya

plagioklas menjadi kalsit.

3. METODE

Metode yang digunakan untuk analisis geokimia fluida air panas ini dibagi menjadi dua yaitu:

- Geoindikator, digunakan untuk menentukan tipe fluida, asal dan kelarutan/kesetimbangan reservoir air panas.
- Geotermometer digunakan untuk menghitung perkiraan temperatur pada reservoir.

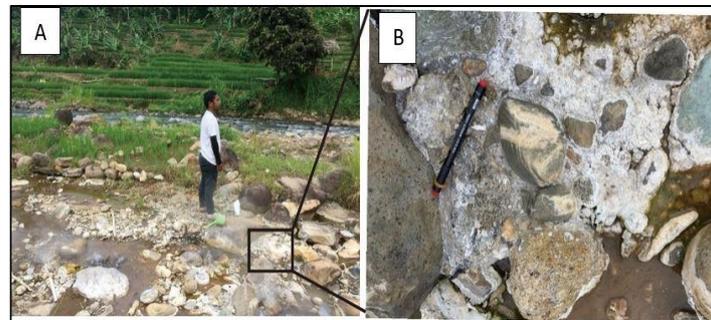
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi pada daerah penelitian terbagi menjadi dua daerah yaitu manifestasi Cisolak dan Cisukarame. Pada daerah Cisolak terdapat manifestasi berupa *geyser*, alterasi, travertin (CSL-1, CSL-2) yang memancar dengan ketinggian sekitar ± 3 meter, dengan pH 8 (basa) dan suhu berkisar $90 - 92^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada daerah Cisukarame terdapat manifestasi yaitu mata air panas (*hot spring*), kolam lumpur panas (*mud pool*), silika sinter (CSK-1, CSK-2), memiliki pH 8 (basa), dan suhu yang berkisar antara $98-99,1^{\circ}\text{C}$. Sinter silika hadir sebagai manifestasi pada daerah penelitian membentuk endapan yang menutupi batuan sekitar yang terbentuk akibat presipitasi silika pada reservoir yang dibawa air klorida, yang mengindikasikan suhu *reservoir* lebih dari 200°C (Nicholson 1993). Endapan silika Sinter berasosiasi dengan aktivitas hidrotermal saat ini (Gambar 4).

Kemuunculan endapan travertin (CaCO_3) yang membentuk gua dengan tinggi ± 2 m dan lebar $\pm 1,60$ m. Keberadaan travertin mengindikasikan adanya mata air bikarbonat, dan sistem reservoir dengan suhu dibawah 150°C dan merupakan penciri sistem panas bumi dua fasa dominasi air (Nicholson 1993).

Pemunculan travertin diakibatkan dari air yang telah mengalami migrasi melalui batuan induk kapur yang mengalami pendinginan (Mahon, 1973). Travertin yang muncul membentuk struktur *crustiform, colloform, breccia*.



Gambar 4. (A) Kenampakan Jauh, (B) Kenampakan Dekat Silika Sinter di Dasar Sungai Cisukarame.

4.2 Geokimia

Pegambilan sampel geokimia dilakukan pada *geyser* Cisolak (CSL-1, CSL-2) dan mata air mata (*hot spring*) sungai Cisukarame (CSK-1, CSK-2).

4.2.1 Penentuan Tipe Air Panas

Dari hasil analisis laboratorium geokimia dan perhitungan persentase unsur-unsur kimia dari empat sampel mata air panas CSL-1, CSL-2, CSK-1 dan CSK-2, memperlihatkan pada mata air panas CSL-1 dan CSL-2, memiliki konsentrasi kandungan Cl dan SO_4 relatif seimbang. Pada mata air panas CSK-1 dan CSK-2 memiliki kandungan Cl lebih dominan dari kandungan SO_4 . Mata air panas CSL-1, CSL-2, CSK-1 dan CSK-2 memiliki kandungan air HCO_3 , dimana HCO_3 pada mata air panas CSL-1 dan CSL-2 lebih tinggi dibandingkan dengan mata air panas CSK-1 dan CSK-2 (Tabel 1).

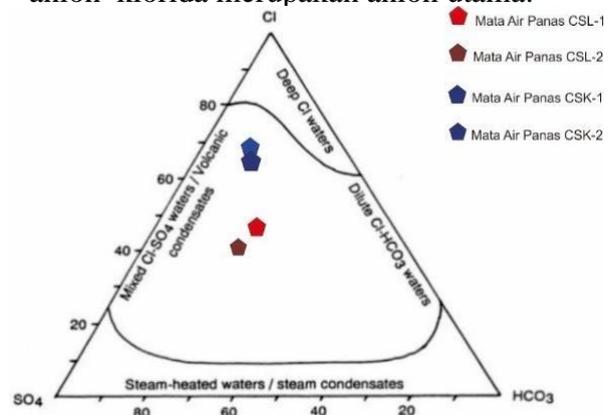
Tabel 1. Hasil Analisis Laboratorium dan perhitungan persentasi unsur kimia mata air panas CSL-1, CSL-2, CSK-1 dan CSK-2 Persentase Tipe Fluida Panas

Unsur (mg/l)	CSL-1	CSL-2	CSK-1	CSK-2
Cl	316,27	316,27	527,11	474,4
SO ₄	237,31	206	159,03	152,44
HCO ₃	141,36	143,25	61,66	62,58
Total	694,94	665,52	747,8	689,42
%Cl	45.51	47.52	70.48	68.81
%SO ₄	34.14	30.95	21.26	22.11
%HCO ₃	20.34	21.52	8.24	9.07

Hasil plotting pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, memperlihatkan tipe air panas dari keempat mata air panas berada di antara “mixed Cl- SO₄ waters/ volcanic condensates” dan “diluted chloride HCO₃ waters”, kemunculan mata air panas daerah Cisolok di permukaan dipengaruhi oleh kondensasi aktifitas magmatik, sedangkan daerah Cisukarame berasal dari air reservoir yang bergerak jauh lateral menjauhi sumber panas dan keempat mata air panas tersebut (CSL-1, CSL-2, CSK-1 dan CSK-2) mengalami percampuran dengan air meteorik, dapat dijelaskan sebagai berikut (Gambar 5) :

- a. Air Klorida – Sulfat – Bikarbonat. Tipe air Klorida - Sulfat dijumpai pada manifestasi panas bumi *geyser* Cisolok (CSL-1, CSL2), di tepi sungai Cisolok. Air Klorida-Sulfat-Bikarbonat terbentuk akibat adanya interaksi air klorida dengan air tanah (bikarbonat) dangkal yang mengalami kondensasi oleh adanya aktifitas vulkanik, hal ini diperlihatkan oleh adanya kandungan SO₄ yang relatif seimbang dengan kandungan Cl pada mata air panas ini. Air Klorida – Bikarbonat Tipe air panas Klorida – Bikarbonat dijumpai pada mata air panas di sungai Cisukarame (CSK-1, CSK-2), dimana pada segitiga Cl-SO₄-HCO₃ posisi CSK-1 dan CSK-2 lebih mendekati

puncak Cl, menunjukkan bahwa mata air panas CSK-1 dan CSK-2 terbentuk akibat adanya interaksi air klorida dengan air tanah. Air klorida – bikarbonat mengalami dilusi oleh air tanah (air bikarbonat) mengikuti aliran yang bergerak lateral jauh dari sumber panas. Pada mata air panas CSK-1 dan CSK-2 anion klorida merupakan anion utama.



Gambar 5. Diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ (modifikasi Giggenbach, 1988 dalam Nicholson, 1993).

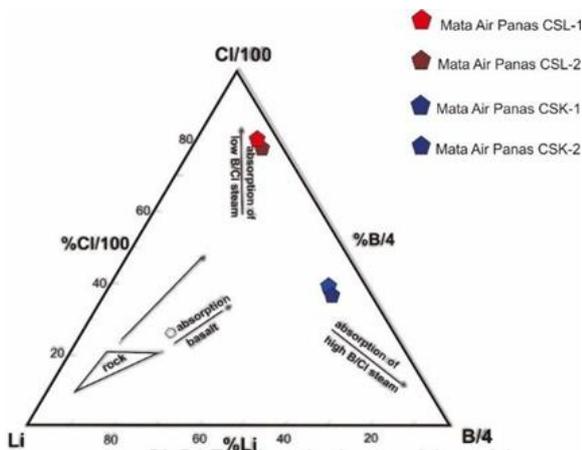
4.2.2 Penentuan Asal Air Panas

Hasil plotting rasio Cl, Li dan B pada diagram segitiga Cl/100-Li-B/4 (Gambar 6) menunjukkan mata air panas Cisolok (CSL-1, CSL-2) berada mendekati puncak klorida (Cl) pada kondisi “*absorption of low B/Cl steam*” dengan Cl relatif tinggi, B/Cl dan Li yang rendah. Sedangkan mata air panas Cisukarame (CSK-1, CSK-2) berada pada kondisi “*absorption high B/Cl steam*” dengan rasio B/Cl yang relatif tinggi. Konsentrasi Li yang di bawah 20 mg/l diperkirakan reservoir di dominasi oleh batuan beku dan batuan vulkanik.

Berdasarkan rasio Cl/B yang digunakan untuk mengetahui kesamaan reservoir (Nicholson, 1993) dapat diasumsikan daerah Cisolok dan Cisukarame memiliki reservoir yang berbeda dimana pada daerah Cisolok memiliki konsentrasi Cl/B sekisar 107, 57 – 123,54 mg/l dan konsentrasi Li sebesar

0,25 mg/l dibawah 1 mg/l dapat menunjukkan reservoir dipengaruhi oleh batuan sekitar yaitu batugamping yang relatif lebih basa. Sedangkan pada daerah Cisukarame memiliki konsentrasi Cl/B berkisar 16,55 – 17.40 mg/l dan Konsentrasi Li sebesar 1,55 mg/l diatas 1 mg/l, diinterpretasikan kondisi reservoir disusun oleh batuan andesitik.

Rasio B/Li akan meningkat seiring dengan jauhnya transportasi fluida panas bumi (Nicholson 1993). Berdasarkan tipe fluida panas bumi dan keterdapatannya *geyser* dan endapan sinter silika, diinterpretasikan daerah Cisolok dan Cisukarame termasuk dalam sistem panas bumi dua fase dominasi air (*water dominated system*).

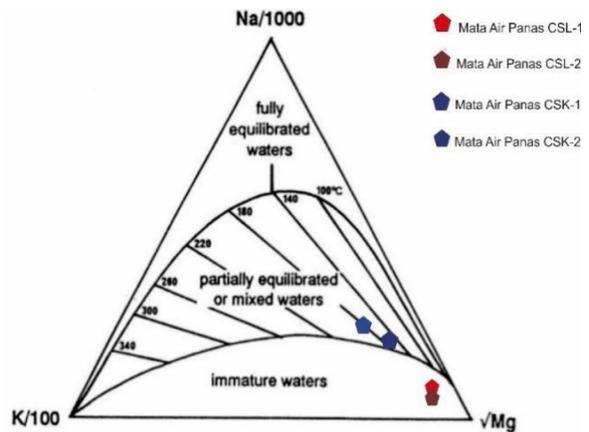


Gambar 6. Diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988).

4.2.3 Kesetimbangan Air Panas

Hasil plotting pada diagram segitiga Na – K – Mg (Gambar 7), diinterpretasikan daerah Cisolok (CSL-1, CSL-2) berada pada kondisi “*Immature waters*” yang menandakan air panas di daerah ini tidak mencapai kesetimbangan saat bergerak ke permukaan. Tingginya kadar Mg pada mata air panas menandakan bahwa air panasnya telah mengalami pencampuran dengan air meteorik yang memiliki konsentrasi Mg yang tinggi (Nicholson 1993). Pada daerah

Cisukarame (CSK-1, CSK,2) berada pada kondisi “*partially equilibrated or mixed water*” pada suhu 180°C dengan kandungan Mg lebih dominan dari Na dan K. Rasio Na / K yang kurang dari 15 mg/L menunjukkan adanya indikasi fluida yang mengalami transportasi dalam waktu cepat, hal ini diakibatkan oleh kehadiran struktur geologi sebagai media migrasi fluida menuju permukaan.



Gambar 7. Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988).

4.3 Geotermometer

Berdasarkan unsur kimia dan karakteristik air panas, dan geotermometer air untuk memprediksi temperatur bawah permukaan (reservoir) di daerah penelitian menggunakan geotermometer silika (SiO₂) saat kondisi *maximum steam loss* dan *no steam loss* (Fournier, 1977), Na-K (Fournier, 1979) dan Na-K (Giggenbach, 1988).

Hasil perhitungan temperatur bawah permukaan (reservoir) dari masing-masing sampel air panas CSL-1, CSL-2, CSK-1, CSK-2, menunjukkan di daerah penelitian memiliki temperatur bawah permukaan (reservoir) yang bervariasi (Tabel 2), sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Geotermometer Silika (SiO₂), Na-K

Sampel Air Panas	Geotermometer Silika (Fournier, 1977)		Geotermometer Na-K Founier (1979)	Geotermometer Na-K Giggenbach, (1988)
	Maximum steamloss (°C)	No steam loss (°C)		
CSL-1	155.58	164,79	139.12	158.67
CSL-2	153.18	161,88	147.67	166.87
CSK-1	181.17	196,17	201.83	218.16
CSK-2	178.48	192,83	198.15	214.71

Dari table 2 tersebut memperlihatkan temperatur bawah permukaan daerah Cisolok dapat diperkirakan berkisar dari 139°C-167°C, dan untuk daerah Cisukarame berkisar dari 178°C-196°C.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil plotting unsur kimia dari mata air panas CSL-1, CSL-2 dan CCK-1 dan CSK-2, pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Cl- Li-B dan Na-K-Mg, menunjukkan keempat mata air panas berada diantara “mixed Cl-SO₄ waters/volcanic condensates” dan “diluted chloride HCO₃ waters” sebagai air “chloride-sulphate-bicarbonate”. Tipe air panas pada daerah Cisolok (CSL-1, CSL-2) sebagai air “Klorida-Sulfat”, sedangkan pada daerah Cisukarame memiliki tipe air “Klorida - Bikarbonat, dapat diinterpretasikan kemunculan mata air panas Cisolok di permukaan dipengaruhi oleh kondensasi aktifitas magmatik, sedangkan mata air panas Cisukarame berasal dari air reservoir yang bergerak jauh lateral menjauhi sumber panas.

Mata air panas Cisolok (CSL-1, CSL-2) dan Cisukarame (CSK-1, CSK-2) memiliki kondisi reservoir yang berbeda. Konsentrasi Li di daerah Cisolok sebesar

0,25 mg/L (dibawah 1 mg/L), diinterpretasikan kondisi reservoir Cisolok dipengaruhi oleh batugamping yang relatif basa, sedangkan di daerah Cisukarame sebesar 1,55 mg/L (di atas 1 mg/L), diinterpretasikan kondisi reservoir dipengaruhi oleh batuan andesitik.

Mata air panas Cisolok (CSL-1, CSL-2) berada pada kondisi “immature waters”, sedangkan mata air panas Cisukarame (CSK-1, CSK-2) mengalami kesetimbangan pada kondisi “partial equilibrated or mixed water. Tingginya kadar Mg pada ke empat mata air panas tersebut menunjukkan mata air panas saat bergerak ke permukaan mengalami pencampuran dengan air tanah dangkal yang kaya akan Mg.

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer air, estimasi temperatur reservoir berkisar dari 139°-167°C untuk daerah Cisolok dan 178°-196°C untuk daerah Cisukarame. Kedua daerah tersebut memiliki sistim reservoir bersuhu sedang (Hocstein, 1990).

Berdasarkan adanya silika sinter, geyser dan tipe fluida panas bumi di daerah penelitian, diinterpretasikan di daerah penelitian memiliki sistem panas bumi dua fasa dominasi air (*water dominated system*).

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W. Van. 1949. “*The Geology of Indonesia*”, vol, IA, Government Printing
- Fournier, R.O. dan Rowe, J.J., 1977, “Estimation of Underground Temperatures from the Silica Content of Water From Hot Springs and Wet-Steam Wells”, *American Journal of Science*, Vol. 264.
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H. 1979. “An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Water”. *Geochimica Cosmochimica Acta*, vol.37, Pp.1255-1275.
- Giggenbach, W. F. 1991 “Chemical Techniques in Geothermal Exploration”, *Application of Geochemistry In Geothermal Reservoir Development*, 119-142.
- Giggenbach, W.F. 1988. “*Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Indicators*”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 52 No.12, pp. 2749- 2765.
- Hochstein, M P. 1990. “Classification and Assessment of Geothermal Resources.” *Small geothermal resources: A guide to development and utilization*, UNITAR, New York: 31–57.
- Hochstein, M. P. 1988. *Assessment and modelling of geothermal reservoirs (small utilization schemes)*. *Geothermics*, 17(1), 15–49.
- Hochstein, M. P., & Caldwell, T. G. 1985. *Heat source characteristics of some warm and hot spring systems in China*. Auckland: Auckland University
- Mahon, W. A.J., 1973. Geochemical reconnaissance of Kamojang, Cisolok and Darajat, West Java. GENZL/ENEX. Unpublished report. 37p.
- Nicholson. K. 1993. “*Geothermal Fluids, Chemistry & Expoloration Techniques*”, Berlin: Springer Verlag, Inc, pp. 1-18.
- Sujatmiko dan Santoso, S. 1992. “Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa”. Skala 1:100.000.
- Zuhro, A. A. 2004. *Numerical Modelling of The Kamojang Geothermal System, Indonesia*. Reykjavík: The United Nations University