



KARAKTERISTIK GEOKIMIA AIR PANAS DAN ESTIMASI SUHU PERMUKAAN PANAS BUMI DI DAERAH SUOH KABUPATEN LAMPUNG BARAT PROVINSI LAMPUNG

Jasmin Arya Alfalah¹, Edy Sutriyono², M. Malik Ibrahim^{3*}

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang Sumatera Selatan

History Article

Article history:

Received July 7, 2023

Approved August 20, 2023

Keywords:

Geochemical analysis, geothermal exploration, reservoir temperature, Suoh area

ABSTRACT

Geochemical analysis is a method of geothermal exploration to determine the type of manifestation and estimate the reservoir temperature in the Suoh area and its surroundings. There are seven hot water sampling locations for physical observation and geochemical content tests, namely APS, APKSH, APKSC, APK1, APK2, APGS, and APBS. Geothermal manifestations in the Suoh area are on the path of the Sumatran fault system which is the result of a dextral-slip fault. If it is divided by segment, the Sumatra fault system in the study area is included in the Suoh segment, where in the Suoh segment, the fault line experiences a slight orientation and changes in tectonic activity, thus forming a working transition. The product of these forces results in discrete movements and fractures forming the openings of tensile concavities. Based on the results of data processing using the geindicator and water geothermometer methods, the results of the Cl-SO₄-HCO₃ plotting diagram show that the seven hot water samples are hydrochloric and sulfuric acid fluids. Then the results of plotting the data using the Na-K-Mg diagram show that high Mg content indicates a process of dissolving (leaching) rocks near the surface and the results of water geothermometer calculations show that the average reservoir temperature ranges from 112-177 °C as a medium temperature system (intermediates). In seven samples of hot water at the study site is a manifestation of geothermal fluid that comes directly from the reservoir.

ABSTRAK

Analisis geokimia adalah metode eksplorasi panas bumi untuk menentukan jenis manifestasi dan perkiraan suhu reservoir di daerah Suoh dan sekitarnya. Terdapat tujuh lokasi pengambilan sampel udara panas untuk pengamatan fisik dan uji kandungan geokimia, yaitu APS, APKSH, APKSC, APK1, APK2, APGS, dan

APBS. Manifestasi panas bumi di daerah Suoh berada pada jalur sistem sesar Sumatera yang merupakan hasil dari sesar dextral-slip. Jika dibagi berdasarkan segmen, maka sistem sesar Sumatera di daerah penelitian termasuk dalam segmen Suoh, dimana pada segmen Suoh, garis sesar tersebut mengalami sedikit orientasi dan perubahan aktivitas tektonik, sehingga membentuk gerakan transtensi yang bekerja. Produk dari gaya-gaya ini menghasilkan gerakan terpisah dan rekahan membentuk bukaan cekungan tarik-pisah. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan metode geoindikator dan geothermometer air, hasil plotting diagram Cl-SO₄-HCO₃ menunjukkan bahwa ketujuh sampel air panas tersebut merupakan jenis fluida jenis air klorida dan air asam sulfat. Kemudian hasil plotting data dengan menggunakan diagram Na-K-Mg menunjukkan bahwa kandungan Mg yang tinggi menunjukkan adanya proses pelarutan (leaching) batuan di dekat permukaan dan hasil perhitungan geothermometer air menunjukkan suhu reservoir rata-rata berkisar antara 112-177 °C sebagai suhu sedang sistem (menengah). Pada tujuh sampel air panas di lokasi penelitian merupakan manifestasi fluida panas bumi yang berasal langsung dari reservoir.

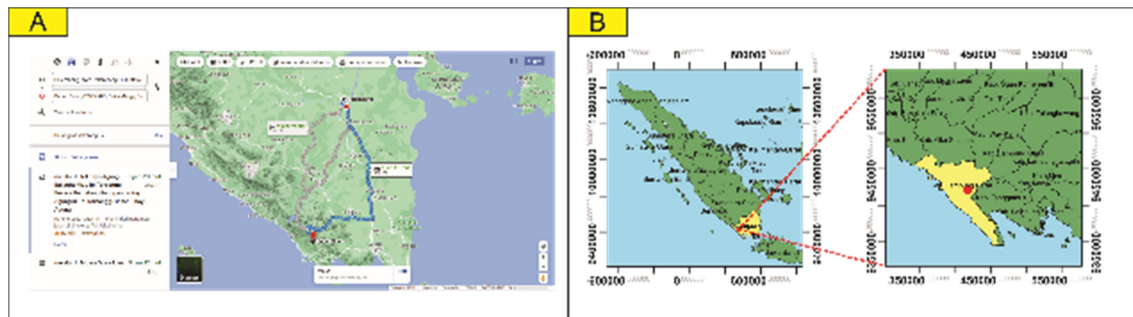
© 2023 Jurnal Pendidikan Global Ilmiah

*Corresponding author email: malikibrahim100@ft.unsri.ac.id

PENDAHULUAN

Secara geografis, Indonesia terletak pada rangkaian sistem vulkanik atau jalur vulkanik. Karena itu, Indonesia sering disebut sebagai “*ring of fire*”. Jejak vulkanik ini berpotensi menjadi sumber energi panas bumi. Tidak hanya gunung api aktif, gunung api yang sudah tidak aktif namun masih memiliki energi panas juga bisa dimanfaatkan.

Lokasi penelitian ini berada di daerah Suoh dan sekitarnya, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung dengan skala peta 1:25.000 (Gambar 1). Berdasarkan geologi wilayah, wilayah kajian masuk dalam Lembaran Kota Agung skala 1:250.000 yang berada pada Barisan Barisan atau *Zona Barisan*. Kisaran itu terletak di busur vulkanik selama periode Paleozoikum dan Mesozoikum.



Gambar 1. a.) Aksesibilitas lokasi dan b.) Lokasi daerah penelitian (tanahair.indonesia.go.id).

Di kawasan Suoh dan sekitarnya terdapat berbagai fenomena panas bumi yang menarik seperti fumarol, aliran tanah, danau panas, dan mata air panas yang terlihat di permukaan. Hal

ini diduga erat kaitannya dengan keberadaan sumber panas bumi yang terletak di kedalaman. Dengan demikian, daerah ini memiliki potensi panas bumi yang menarik untuk dikaji lebih lanjut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan memahami lebih dalam karakteristik dan distribusi sistem panas bumi di daerah Suoh dengan menggunakan metode analisis fluida yang diambil dari kawah Suoh. Melalui analisis fluida ini akan diketahui berbagai karakteristik sistem panas bumi di daerah Suoh dan sekitarnya, antara lain jenis fluida yang terdapat pada reservoir, zonasi sistem panas bumi (*upflow* atau *outflow*), dan temperatur reservoir. Dengan memperoleh informasi yang komprehensif tentang karakteristik ini, kami akan dapat mengevaluasi kualitas reservoir di wilayah studi dengan lebih baik.

METODE

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah geokimia fluida. Geokimia merupakan salah satu metode eksplorasi panas bumi untuk mempelajari karakteristik fluida panas bumi. Dalam melakukan analisis geokimia ini bertujuan untuk mengklasifikasikan dan mengklasifikasikan karakteristik fluida panas bumi. Metode ini untuk menentukan karakteristik panas bumi yang meliputi karakteristik suhu dan reservoir. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah geoindikator dan geothermometer air.

Geoindikator

Dalam kajian panas bumi, geoindikator berperan penting sebagai zat terlarut yang bersifat reaktif dan menunjukkan karakteristik lingkungan dalam keadaan seimbang atau equilibrium. Penggunaan geoindikator bertujuan untuk mengidentifikasi zona upflow dan outflow pada sistem panas bumi yang diteliti. Pada tahun 1984, Giggenbach dan Goguel mengelompokkan berbagai jenis geoindikator yang relevan dalam penelitian panas bumi, antara lain:

1. Geoindikator Cl-SO₄-HCO₃

Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ merupakan metode yang digunakan untuk menentukan tipologi fluida reservoir panas bumi dengan tujuan untuk mendapatkan karakteristik reservoir yang diinginkan. Parameter yang digunakan pada diagram ini adalah konsentrasi klorida (Cl), bikarbonat (HCO₃), dan sulfat (SO₄).

2. Geoindikator Cl-Li-B

Diagram segitiga Cl-Li-B memiliki fungsi yang sangat relevan dalam mengevaluasi proses pendidihan dan pengenceran berdasarkan rasio konsentrasi Cl/100 dan B/4 yang dikonversi menjadi persentase. Selain itu, penggunaan diagram ini juga meliputi penentuan zona outflow dan zona upflow. Zona upflow adalah tempat keluarnya fluida bersama energi panas, sedangkan zona outflow adalah area keluarnya fluida tanpa disertai energi panas secara bersamaan.

3. Geoindikator Na-K-Mg

Diagram segitiga Na-K-Mg merupakan hasil kombinasi geothermometer Na-K dan K-Mg yang digambarkan sebagai penunjuk dalam diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988). Interaksi antara Na-K merupakan reaksi kimia kesetimbangan yang terjadi di reservoir, menghasilkan rasio Na/K murni.

Unsur natrium (Na) dan kalium (K) merupakan unsur yang menunjukkan sifat kelarutan yang rendah. Oleh karena itu, saat air bergerak menuju permukaan, ia tidak akan berinteraksi dengan batuan di sekitarnya. Namun, ketika air dari reservoir Bumi naik ke permukaan, air

tersebut bergabung dengan air meteorik yang mengalir ke permukaan. Air meteorik ini juga mengandung sejumlah kecil unsur natrium dan kalium, bersama dengan jejak unsur Magnesium (Mg). Akibatnya, elementodium dan potasium akan berbaur. Interaksi antara unsur Na dan K yang berasal dari reservoir dengan unsur Na dan K dari permukaan berpengaruh terhadap reaksi kesetimbangan, dan mengurangi reaksi kesetimbangan karena adanya sejumlah kecil Mg yang terlibat dalam reaksi. Keadaan ini dikenal sebagai keseimbangan parsial. Seiring dengan pergerakan air menuju permukaan, kandungan Mg yang bercampur dengan air meningkat. Keadaan ini, di mana air mengandung unsur Mg dalam jumlah besar, disebut sebagai *air yang belum matang*.

geotermometer air

Metode geotermometer air adalah pendekatan untuk memperkirakan suhu yang ditemukan di bawah permukaan atau reservoir panas bumi, dengan mempertimbangkan keberadaan zat terlarut dalam cairan panas bumi. Konsentrasi zat-zat tersebut sangat dipengaruhi oleh suhu (Yoga Aribowo, 2011). Dalam menentukan temperatur reservoir, terdapat berbagai jenis geotermometer yang digunakan sebagai parameter, antara lain:

1. Geotermometer K-Mg

Geotermometer ini diterapkan ketika manifestasi menunjukkan konsentrasi Mg yang signifikan. Adanya kadar Mg yang tinggi merupakan indikasi bercampurnya fluida reservoir dengan air di permukaan.

Geotermometer mengungkapkan keadaan akhir dari interaksi antara fluida dan permukaan batuan reservoir. Hal ini juga didukung dengan konsentrasi Mg yang akan menurun jika temperatur reservoir naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan Mg yang tinggi pada suatu manifestasi menunjukkan adanya pengaruh air permukaan yang dekat dengan permukaan. Geotermometer ini dapat digunakan pada saat suhu memiliki kisaran suhu 50-300°C. Persamaan 1 dari geotermometer ini adalah:

$$t^{\circ} C = \frac{4410}{13,95 + 10 \left(\frac{K^2}{Mg}\right)} - 273,15 \dots \dots \dots (1)$$

2. Geotermometer kuarsa

Fournier (1977) menciptakan satu set persamaan untuk memperkirakan suhu reservoir panas bumi. Dalam persamaan ini, Fournier menggunakan parameter kelarutan silika dalam fluida karena fluida panas bumi pada umumnya mengalami kesetimbangan kimia dengan silika (kuarsa). Persamaan ini dibagi menjadi 3 berdasarkan kondisi lapangan. Jenis persamaan ini meliputi (C=kandungan silika):

A. *No Steam Loss*, geotermometer ini digunakan untuk mata air panas dalam *kondisi subboiling* atau fluida yang mengalami pendinginan konduktif saat naik ke permukaan. Rumus persamaan 2.1 adalah:

$$T = 1309 / (5.19 - \log C) - 273.15 \dots \dots \dots (2.1)$$

B. *Max Steam Loss*, geotermometer ini digunakan untuk memperkirakan adanya *heat steam loss* pada fluida yang sedang dianalisa. Persamaan ini dilakukan pada saat air panas dalam *kondisi mendidih* yang biasanya terjadi di sekitar sumur *pembuangan*. Rumus persamaan 2.2 adalah:

$$T = 1522 / (4,69 - \log C) - 273,15 \dots \dots \dots (2.2)$$

C. *Chalcedony*, geotermometer ini digunakan ketika suhu fluida di bawah 150°C dan air manifestasi jenuh. Rumus persamaan 2.3 adalah:

$$T = 1032 / (4,69 - \log C) - 273,15 \dots \dots \dots (2,3)$$

3. Geotermometer Na-K

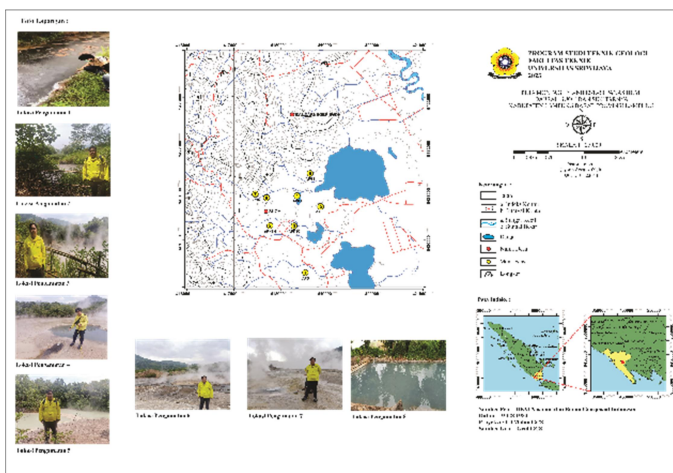
Geotermometer Na-K (Fournier, 1979) menjelaskan perubahan rasio konsentrasi unsur Na terhadap K seiring dengan kenaikan suhu fluida, berdasarkan reaksi pertukaran kation yang dipengaruhi suhu. Metode geotermometer ini efektif dalam menganalisis reservoir klorida air dengan suhu di atas 180 °C. Keuntungan utama dari geotermometer Na-K adalah ketidakpekaannya terhadap kehilangan uap air. Namun metode ini tidak cocok digunakan pada temperatur di bawah 100 °C (Simmons, 1988). Persamaan matematika yang mendasari geotermometer ini adalah:

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1217}{1483 + \log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)} - 273,15 \dots\dots\dots (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berlokasi di Kawah Suoh yang merupakan kumpulan kawah di kawasan Suoh dan sekitarnya. Berdasarkan analisis citra satelit dari Digital Elevation Model (DEM), daerah penelitian berada di Patahan Semangko (sistem sesar Sumatera) yang merupakan hasil sesar dextral-slip (sesar mendatar).

Berdasarkan penelitian lapangan yang dilakukan, terdapat tujuh titik pengamatan dan lokasi pengambilan sampel air panas yang berhasil didapatkan. Ketujuh titik tersebut meliputi Air Panas Sawah (APS), Air Panas Kopi Susu Hitam (APKSH), Air Panas Kopi Susu Cokelat (APKSC), Air Panas Keramik I (APK1), Air Panas Keramik II (APK2), Air Panas Gunung Suoh Air (APGS), Pemandian Air Panas Bukit Suoh (APBS), dan Pemandian Air Panas (PAP).



Gambar 5. Peta lokasi pengamatan dan pengambilan sampel air panas

Berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat jenis manifestasi yang ditemukan di kawasan Suoh dan sekitarnya, yaitu mata air panas, silika sinter, travertine, fumarol, tanah beruap panas, dan danau panas. Karakteristik pada setiap titik lokasi memiliki tipe manifestasi yang berbeda berdasarkan observasi lapangan pada lokasi penelitian.

Tabel 1. Karakteristik manifestasi di lokasi penelitian.

Kode Sampel	Koordinat Lokasi Sampel	Temperatur Air Permukaan (°C)	Karakteristik Manifestasi
APS	48M 418904 °E 9419121 °N	67	Air keruh, warna air kehitaman, aroma sulfur sedang, rasa asin, di sisi kawah terbentuk <i>mud pool</i> (kolam lumpur), adanya deposit silika sinter, terdapat uap gas yang sedang serta uap panas, terdapat fumarol berukuran kecil dan gelembung air.
APKSH	48M 417750 °E 9419840 °N	89	Air keruh, warna air coklat pekat, aroma sulfur kuat, rasa asin, di sisi kawah terbentuk <i>mud pool</i> (kolam lumpur), adanya deposit silika sinter, tidak ada uap gas, terdapat uap air, gelembung air.
APKSC	48M 418234 °E 9420250 °N	86	Air keruh, warna air coklat, aroma sulfur kuat, rasa asin, di sisi kawah terbentuk <i>mud pool</i> (kolam lumpur), adanya deposit silika sinter, tidak ada uap gas, terdapat uap air, gelembung air.
APK I	48M 418352 °E 9420885 °N	91	Air Jernih, warna air bening, aroma sulfur sedang, rasa asin, adanya deposit silika sinter dan <i>travertine</i> , tidak ada uap gas, terdapat uap air serta gelembung air.
APK II	48M 418823 °E 9420741 °N	83	Air keruh, warna air coklat, aroma sulfur kuat, rasa asin, di sisi kawah terbentuk <i>mud pool</i> (kolam lumpur), adanya deposit silika sinter, tidak ada uap gas, terdapat uap air, gelembung air.
APGS	48M 418591 °E 9421595 °N	103	Air keruh, warna air bening, aroma sulfur kuat, rasa asin, adanya deposit silika sinter, tidak ada uap gas, terdapat uap air serta gelembung air.
APBS	48M 417200 °E 9421391 °N	109	Air Jernih, warna air bening, aroma sulfur sangat kuat, rasa asin, adanya deposit silika sinter dan <i>travertine</i> , tidak ada uap gas, terdapat uap air serta gelembung air.

1. Hasil Analisis Geokimia

Pada daerah penelitian tersebut telah dilakukan analisis sampel air panas dengan menggunakan metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer). Proses analisis dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) yang berlokasi di Bandung, Jawa Barat.

Meja 2. Tabel parameter untuk sampel air panas

	Kode Sampel						
	APS	APKSH	APKSC	APK I	APK II	APGS	APBS
Temperatur (°C)	67	89	86	91	83	103	109
pH	5,41	2,09	2,31	6,96	2,75	6,65	7,48
Ca ²⁺	19,57	29,55	43,28	27,37	42,12	21,97	25,2
Mg ²⁺	3,1	8,37	9,91	16,05	3,29	8,67	11,8
K ⁺	5,22	9,11	11,6	9,96	8,13	15,33	59,3
Na ⁺	106	16,06	200,39	72,69	84,8	73,38	348,4
Fe ³⁺	5,8	8,64	11,63	1,21	2,01	1,26	0,2
Li ⁺	0	0	0	0	0	0	0
SiO ₂ ⁺	96,73	153,74	164,82	184,15	173,33	189,66	254,98
B ⁺	0,5	1,08	0,7	0,62	1,13	0,87	0,74
Al ³⁺	1,69	19,06	9,72	1,63	2,64	1,38	0,79
As ³⁺	0	0,4	0,4	8	0,2	8	3
NH ₄ ⁺	4,31	8,42	4,55	1,3	1,34	1,77	0,52
F ⁻	0,04	0	0	0	0	0	0,25
Cl ⁻	55,61	236,5	253,65	240	184,47	177,22	572,54
SO ₄ ²⁻	81,69	515,68	363,26	33,87	207,9	62,56	74,62
HCO ₃ ⁻	12,5	0	0	47,34	0	31,48	41,19

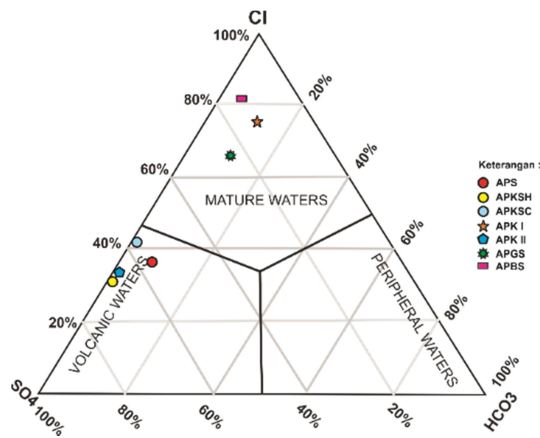
2. Hasil Analisis Geoindikator

Cl-SO₄-HCO₃ Geoindikator

Pemanfaatan diagram geindikator Cl-SO₄-HCO₃ digunakan untuk mengidentifikasi variasi fluida yang ada di reservoir. Data hasil analisis kimia air diolah sehingga diubah menjadi persentase, kemudian dipetakan dalam diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃.

Tabel 3. Tabel hasil perhitungan persentase Cl-SO₄-HCO₃.

No.	Lokasi	HCO ₃ (%)	SO ₄ (%)	Cl (%)
1.	APS	8,3	54,2	36,9
2.	APKSH	0	68,5	31,4
3.	APKSC	0	58,8	41,1
4.	APK I	14,7	10,5	74,7
5.	APK II	0	66,8	33,2
6.	APGS	11,6	23	65,3
7.	APBS	5,9	10,8	83,1



Gambar 6. Diagram Segitiga Sumber Air Panas Cl- SO₄-HCO₃ Suoh.

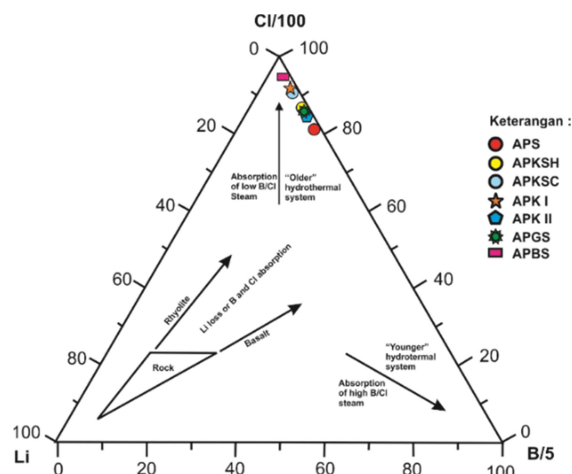
Berdasarkan plot diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, diketahui bahwa jenis fluida yang terdapat di daerah penelitian terdiri dari fluida asam sulfat dan fluida klorida. Di lokasi penelitian APS, APKSH, APKSC, dan APK II terdeteksi adanya kandungan air asam sulfat (SO₄) sebagai komponen utama, dengan kandungan klorida (Cl) air yang rendah dan tidak terpantau kandungan bikarbonat (HCO₃). Sedangkan di lokasi penelitian APK I, APGS, dan APBS teridentifikasi sebagai cairan klorida. Hal ini ditunjukkan dengan dominasi air klorida (Cl) dengan kadar air asam sulfat (SO₂) yang rendah dan bikarbonat (HCO₃).

3. Geindikator Cl-Li-B

Penggunaan geindikator Cl-Li-B bertujuan untuk mengevaluasi fenomena pemanasan dan pengenceran melalui analisis perbandingan konsentrasi Cl/100 dan B/4 yang dikonversikan ke dalam persentase. Data yang dihasilkan selanjutnya akan dianalisis dan direpresentasikan dalam bentuk diagram segitiga Cl-Li-B.

Tabel 4. Tabel hasil perhitungan persentase Cl-Li- B .

No.	Lokasi	Cl (%)	Li (%)	B (%)
1.	APS	81,65	0	18,35
2.	APKSH	89,75	0	10,25
3.	APKSC	93,5	0	6,5
4.	APK I	94,9	0	5,1
5.	APK II	87,1	0	12,9
6.	APGS	89,06	0	10,94
7.	APBS	96,8	0	3,2



Gambar 7. Diagram segitiga mata air panas Suoh CI-Li-B .

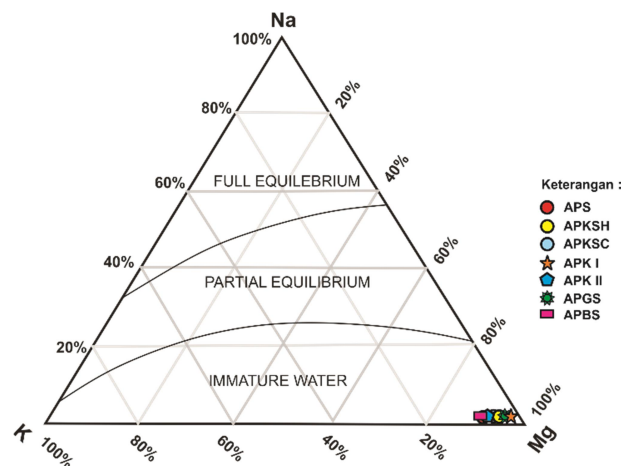
Berdasarkan diagram plot Cl-Li-B terlihat bahwa fluida pada zona dominan klorida (Cl) menunjukkan serapan gas boron yang rendah, menandakan asalnya dari sistem hidrotermal yang telah terbentuk sejak lama. Fenomena ini disebabkan oleh ketahanan unsur boron (B) dan klorida (Cl) terhadap reaksi dalam sistem hidrotermal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ketujuh mata air panas bumi tersebut berasal dari satu sistem atau reservoir yang sama.

4. Geoindikator Na-K-Mg

Geoindikator Na-K-Mg digunakan untuk memperkirakan suhu reservoir dan menganalisis keseimbangan kimia sampel air. Dalam analisis kesetimbangan ini, konsentrasi Na, K, dan Mg diuji karena unsur-unsur tersebut terbentuk akibat adanya perubahan suhu pada fluida panas bumi. Berdasarkan persamaan dan perhitungan rumus tersebut, nilai-nilai tersebut kemudian diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg.

Tabel 5 . Tabel hasil perhitungan persentase Na-K-Mg.

No.	Lokasi	Na (%)	K (%)	Mg (%)
1.	APS	0,89	0,42	98,69
2.	APKSH	0,04	0,22	99,7
3.	APKSC	0,21	0,39	99,4
4.	APK I	0,07	0,05	99,88
5.	APK II	0,5	0,42	99,08
6.	APGS	0,22	0,02	99,76
7.	APBS	0,66	1,04	98,3



Angka 8. Diagram segitiga mata air panas Suoh Na-K-Mg .

Melalui analisis diagram plot segitiga Na-K-Mg, diperoleh data bahwa komposisi kandungan Mg dalam sampel sangat mendominasi dibandingkan dengan kandungan Na dan K. (air yang belum matang). Kondisi air yang belum matang juga menunjukkan bahwa batuan reservoir berada pada suhu dan tekanan yang tinggi. Sebelum mencapai permukaan, air meteorik telah bercampur dan mengencerkannya sehingga menghasilkan kandungan yang kaya akan unsur Mg.

Geotermometer Air

a) geotermometer K-Mg

Geotermometer ini digunakan bila terdapat kandungan Mg yang tinggi pada suatu manifestasi. Kandungan Mg yang tinggi menandakan bahwa fluida di reservoir telah bercampur dengan air permukaan. Berdasarkan perhitungan hasil plot dari geoindikator Na-K-Mg, suhu reservoir dapat ditentukan dengan menggunakan parameter unsur K-Mg.

Tabel 6. Tabel hasil perhitungan suhu geothermometer K-Mg.

No	Lokasi	Temperatur Reservoir (°C)	Temperatur di Permukaan (°C)
1.	APS	66,08	67
2.	APKSH	68,7	89
3.	APKSC	71,38	86
4.	APK I	79,65	91
5.	APK II	76,85	83
6.	APGS	80,13	103
7.	APBS	85,3	109

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh estimasi suhu reservoir Suoh antara 68,7 - 85,3 °C, dengan suhu rata-rata 75,39 °C. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kandungan Mg yang tinggi pada manifestasi air panas menunjukkan adanya pengaruh dari air permukaan. Hal ini juga didukung oleh fakta bahwa konsentrasi Mg akan meningkat jika temperatur reservoir menurun.

b) Geothermometer Kuarsa

Metode ini digunakan untuk mendapatkan perkiraan suhu reservoir dengan menggunakan parameter kandungan silika dalam sampel air. Terdapat tiga variasi geothermometer silika yang tersedia yaitu tanpa kehilangan uap, dengan kehilangan uap maksimum, dan dengan kalsedon. Dalam konteks ini, metode yang akan digunakan adalah *chalcedony*. *Kalsedon* digunakan untuk manifestasi yang memiliki suhu sekitar 150 °C dan air jenuh.

Tabel 7. Tabel hasil perhitungan suhu kuarsa geothermometer.

No	Lokasi	Temperatur Reservoir (°C)
1.	APS	163,1
2.	APKSH	187,9
3.	APKSC	190,6
4.	APK I	244,7
5.	APK II	170,4
6.	APGS	293,8
7.	APBS	267,5

Perhitungan dengan menggunakan *geothermometer kalsedon*, didapatkan perkiraan temperatur reservoir di daerah Suoh sekitar 107,6 – 179,4 °C dengan temperatur rata-rata 146,3 °C. Estimasi yang diperoleh dari perhitungan ini memberikan nilai acuan yang berharga, karena didasarkan pada karakteristik manifestasi yang telah jenuh dan suhu permukaan tidak lebih dari 150 °C.

c) geothermometer Na-K

Geothermometer ini mengukur perubahan rasio konsentrasi Na terhadap K yang terjadi seiring dengan peningkatan temperatur fluida. Hal ini terkait dengan reaksi pertukaran kation yang dipengaruhi oleh suhu (Fournier, 1979). Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan

geoindikator Na-K-Mg dapat digunakan untuk menentukan estimasi temperatur reservoir dengan menggunakan parameter unsur Na-K.

Tabel 6. Tabel hasil perhitungan suhu geothermometer Na-K.

No	Lokasi	Temperatur Reservoir (°C)
1.	APS	163,1
2.	APKSH	187,9
3.	APKSC	190,6
4.	APK I	244,7
5.	APK II	170,4
6.	APGS	293,8
7.	APBS	267,5

Dari perhitungan menggunakan geothermometer Na-K, suhu yang diperkirakan di daerah Suoh berkisar antara 163,1-293,8 °C dengan suhu rata-rata 216,8 °C. Perlu diketahui bahwa suhu reservoir yang sebenarnya mungkin lebih rendah atau jauh lebih tinggi dari hasil yang dihitung. Hal ini disebabkan oleh pengendapan unsur-unsur terlarut, khususnya unsur Na-K, yang terjadi saat fluida panas bumi mengalir di dekat permukaan. Konsekuensinya, komposisi kimia fluida di reservoir bisa berbeda.

KESIMPULAN

1. Di lokasi penelitian, sampel air panas diambil dari tujuh lokasi berbeda. Ditemukan dua jenis fluida, yakni air klorida di Sumber Air Panas Padi Sawah (APS), Air Panas Keramik I (APK1), Air Panas Gunung Suoh (APGS), dan Air Panas Bukit Suoh (APBS), serta air asam sulfat di Pemandian Air Panas. Kopi Susu Hitam (APKSH), Air Panas Kopi Susu Coklat (APKSC), dan Air Panas Keramik II (APK2). Di tujuh titik pengambilan sampel air panas ini akan dilakukan pengamatan fisik, pengambilan sampel, dan uji geokimia kandungannya.
2. Ketujuh manifestasi ini berada pada daerah dengan kontur relatif sedang-tinggi, sehingga termasuk dalam kategori relief tinggi vulkanogenik.
3. Berdasarkan pengukuran di lapangan, rata-rata pH air panas berkisar antara 2,09 hingga 7,48. Suhu permukaan berkisar antara 67 hingga 109 o C. Air panas memiliki rasa asin, dengan kenampakan bening untuk air hidroklorik dan keruh untuk air asam sulfat. Di sekitar kawah terbentuk kolam lumpur dan terdapat endapan sinter silika dan travertine. Ada juga uap gas dan uap, serta fumarol kecil dan gelembung air.
4. Fluida reservoir termasuk dalam kategori immature water, yang menunjukkan bahwa batuan penyimpan berada pada kondisi suhu dan tekanan yang signifikan.
5. Daerah penelitian berkisar antara 112 – 177 o C yang termasuk dalam kategori sistem temperatur menengah .

DAFTAR PUSTAKA

- Argakoesoemah, R., dan Kamal, A. 2004. *Sedimen laut dalam Talang Akar Purba di Cekungan Sumatera Selatan : Drama eksplorasi baru*. Prosiding Konvensi Tahunan Asosiasi Perminyakan Indonesia ke-31.
- Cao Duy Giang dan Tran Trong Thang, 2008. Karakteristik fluida panas bumi di wilayah barat laut dan Dataran Utara, Vietnam. Prosiding Simposium Panas Bumi Asia ke-8, Hanoi 9-10 Desember, 142-151.
- Chandrasekharam D. dan Bundschuh J, 2008. Sumber Daya Panas Bumi Berenergi Rendah untuk Pembangkit Listrik. Taylor & Francis Group, London, Inggris , 172pp .
- Direktorat Panas Bumi Kementerian Energi Direktorat Jenderal EBTKE dan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia 2017, Badan Geologi. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1* . Jakarta : Direktorat Panas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Duchkov AD, Nguyen Chong Jem, Dinh Van Toan, dan Chin Viet Bak (1992) Estimasi aliran panas pertama di Vietnam utara . Geologi dan Geofisika Soviet, Vol. 33, No.5, hal 92-96.
- Flynn T., Quy HH (1997). Penilaian sumber daya panas bumi Republik Sosialis Vietnam. *Transaksi Dewan sumber daya panas bumi*, vol.21, 341-345.
- Fournier, Robert O. 1989. *Geothermometer Air Diterapkan pada Energi Panas Bumi* . AS: Survei Geologi AS.
- Giggenbach, WF. 1988. *Teknik Kimia Dalam Eksplorasi Panas Bumi* . Selandia Baru : Divisi Kimia, DSIR, Private Bag.
- Hall, R. 2014. *"Sundaland: Karakter Basement, Struktur dan Perkembangan Tektonik Lempeng"* . Prosiding Asosiasi Perminyakan Indonesia (IPA 09-G-134).
- Hochstein, Manfred P dan Patrick RL Browne. 2000. *Manifestasi Permukaan Sistem Panas Bumi dengan Sumber Panas Vulkanik* dalam Ensiklopedia Gunung Api. Pers Akademik.
- Huggett, RJ: *Fundamentals of Geomorphology* , edisi ke-2, Routledge, Inggris, (2007), 458 hlm.
- Muraoka, H ., Takashi, M., Sundhor, H ., Dwipa, S. Soeda, Y. Momita, M. and K., 2010 *Sistem Panas Bumi Dibatasi oleh Sesar Sumatra dan Cekungan Tarik-Aparnya di Sumatra* , Indonesia Bagian Barat: Proccesdings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia.
- Nicholson, Keith. 1993. *Fluida Panas Bumi, Kimia dan Teknik Eksplorasi* . Berlin : Springer Verlag, Inc.
- Pulunggono, A., dan Cameron, N. 1984. *Lempeng Mikro Sumatera; Karakteristik dan Perannya dalam Evolusi Cekungan Sumatera Tengah dan Selatan* . Asosiasi Perminyakan Indonesia, 121-143.
- Putra Aldo Febriansyah, Husein Salahuddin, 2016. *Pull-Apart Basin of Sumatran Fault: Pekerjaan Sebelumnya dan Perspektif Saat Ini* . Prosiding , Seminar Nasional Kebumian ke-9. Peran Riset Ilmu Kebumian dalam Pemberdayaan Masyarakat 6-7 Oktober 2016; Grha Sabha Pramana.
- Saptadji, Nenny Miryani, 2000. *Panduan Teknik Panas Bumi*. Bandung : Geologi ITB.
- Widyatmanti, W., Wicaksono, I., & Syam, PD 2016. *Identifikasi Komposisi Elemen Topografi Berdasarkan Batas Bentuk Lahan dari Segmentasi Interferometri Radar (Studi Pendahuluan Pemetaan Bentuk Lahan Digital)* . Konferensi dan Pameran Internasional IGRSM ke-8 tentang Penginderaan Jauh & GIS, 1-8.