

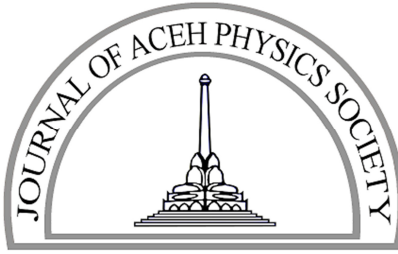
ISSN online : 2355-8229

JOURNAL OF ACEH PHYSICS SOCIETY

PHYSICS SOCIETY
JOURNAL OF ACEH

VOLUME 9 NUMBER 1
January, 2020

Journal Published by Aceh Physics Society
<http://jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS>



Journal of Aceh Physics Society

Chief Editor

Syahrur Nur

Managing Editor

Elin Yusibani

Associated Editors and Reviewers

Mitra Djamal	Nasrullah Idris
M. Danang Birowosuto	Rinda Hedwig
Nurhasan	Topan Setiadipura
Zulkarnain A Djalil	Abdul Halim
Edi Suharyadi	Adi Rahwanto

Index mainly by:

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



Crossref **Google**
Scholar

Volume 9, Number 1
January, 2020

List of Content

The Production and Characterization of Activated Carbon Electrodes from Pineapple Leaf Fibers for Supercapacitor Application <i>Agustino, Awitdrus, Rakhmawati Farma, Erman Taer</i>	1 - 8
Use of SiO₂ Rice Husk Ash and Ni in Materials Solid Hydrogen Storage Based on MgH₂ <i>Taufik, Zulkarnain, Mursal</i>	9 - 12
Effect of KOH Activator on the Performance of Activated Carbon from Oil Palm Kernel Shell as Supercapacitor Electrode Material <i>Yola Azli Perdana, Rahma Joni, Emriadi, Hermansyah Aziz</i>	13 -19
Study of Water Chemical Compounds at Geothermal Area: Case on Geothermal Weh Island, Jaboi <i>Evi Yufita, Muhammad Isa, Aztarina Ermy Vijaya</i>	20 - 25
Effect of Stripline Number on Resonant Frequency of Hexagonal Split Ring Resonator Metamaterial <i>Romi Fadli Syahputra, Yan Soerbakti, Riad Syech, Erman Taer, Saktioto</i>	26 - 30

Kajian Senyawa Kimia Air pada Kawasan Panas Bumi: Studi Kasus Fluida Panas Bumi Jaboi, Pulau Weh

Study of Water Chemical Compounds at Geothermal Area: Case on Geothermal Weh Island, Jaboi

Evi Yufita, Muhammad Isa* dan Aztarina Ermy Vijaya

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111 Indonesia

Received December, 2019, Accepted January, 2020

DOI: 10.24815/jacps.v9i1.15229

Kandungan senyawa kimia air sangat berguna dalam penentuan karakteristik fluida panas bumi terutama sumbernya dan arah aliran fluida tersebut. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengkaji senyawa kimia air yang terkandung pada lapangan panas bumi. Penelitian ini dilakukan dengan metode Titrasi dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Pengambilan sampel air dilakukan di dua lokasi mata air panas. Untuk pengujian sampel dilakukan pada Balai Riset dan Standarisasi (Baristan) Banda Aceh. Pengolahan data dilakukan dengan perbandingan kandungan kimia air, sedangkan interpretasi menggunakan diagram segitiga Ternary. Diagram segitiga ini meliputi $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$, digunakan untuk mengetahui kandungan fluida panas bumi, Cl-Li-B digunakan untuk menentukan temperatur suatu lokasi panas bumi dan Na-K-Mg untuk mengetahui kesetimbangan lingkungan fluida panas bumi. Hasil analisis senyawa kimia air menunjukkan bahwa fluida panas bumi memiliki konsentrasi yang didominasi sulfat SO_4 . Adapun nilai konsentrasi sulfat masing-masing 95% sampel I dan 97% sampel II. Kandungan kimia air ini diperkirakan berada pada zona *upflow*. Fluida panas bumi yang muncul ke permukaan dari dua lokasi sampel bersumber langsung dari aktivitas magma.

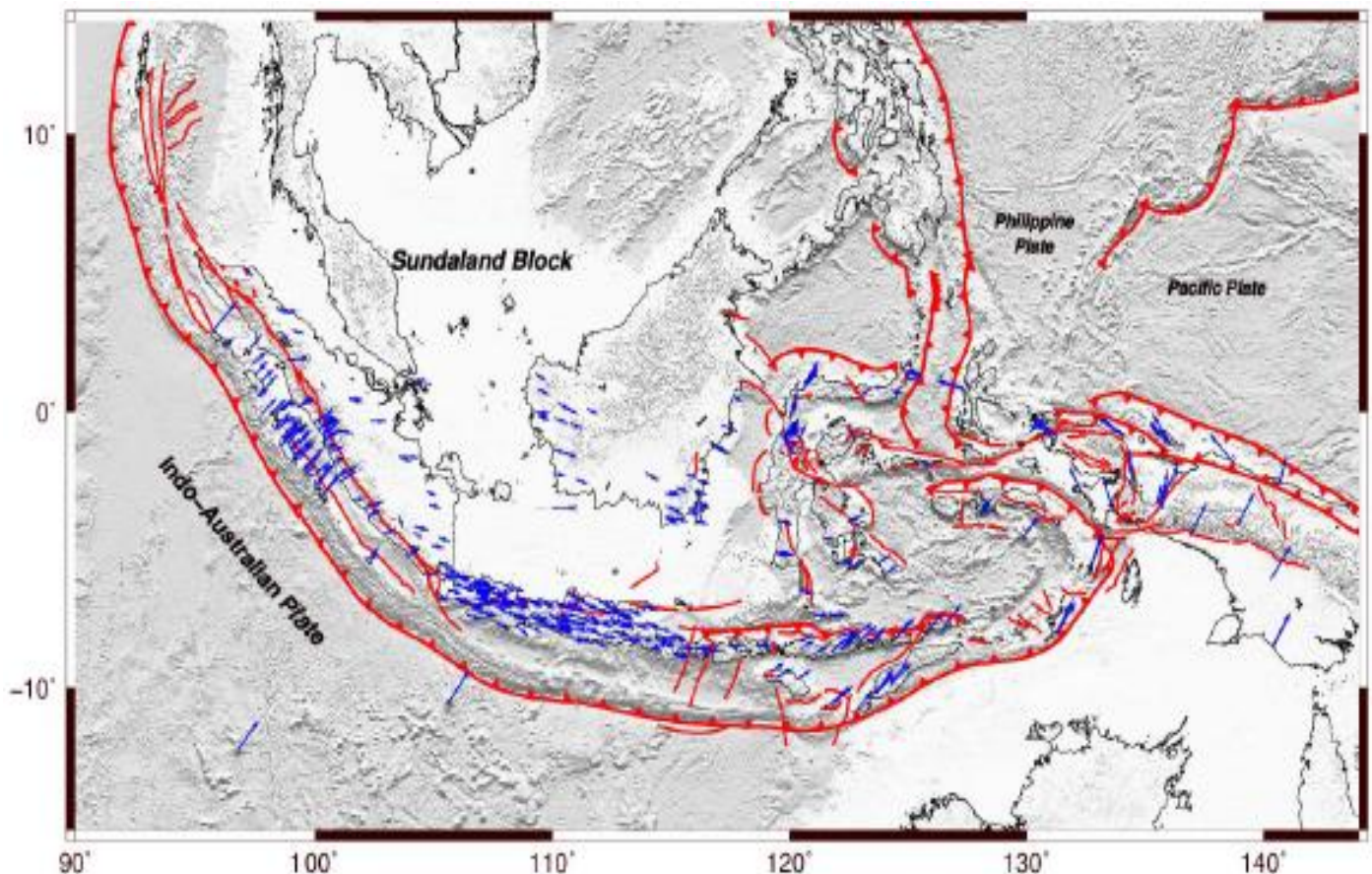
An analysis of the flow of geothermal fluid has been carried out in the Jaboi geothermal field, Sabang. This study aims to obtain a zone of geothermal fluid flow in relation to faults/faults. This research was conducted by the titration method and Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Sampling was carried out at two hot spring locations, namely crater I and crater IV. For sample testing carried out in a standardized laboratory. Data processing is done through comparison of chemical fluid content and interpretation of Ternary triangle diagrams. The triangle diagram includes $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$, Cl-Li-B and Na-K-Mg to determine the characteristics of geothermal fluids. Based on data that has been processed and correlated with other supporting data (local geological conditions, magnetic, and temperature) shows a relationship that affects each other with the presence of faults. The analysis shows that geothermal fluid in the upflow zone is characterized by a dominant SO_4 sulfate concentration (95% for sample I and 97% for sample II). In the Na-K-Mg triangle diagram, the fluid shows an immature water condition because the fluid has mixed with meteoric water. Based on the analysis of the geochemical data of the study area, it was shown that there is a connection with Ceunohot fault trending northeast to southwest as the controller of the flow of geothermal fluid.

Keywords: Ternary triangle diagrams, geothermal fluid, chemical water compounds

Pendahuluan

Pulau Sumatera terletak di sepanjang tepi barat Indonesia, yang merupakan hasil bentukan dari tumbukan 2 lempeng yang mengakibatkan adanya

penunjaman di sepanjang lepas pantai barat Sumatera serta menyebabkan terbentuknya jalur gunungapi sepanjang Pulau Sumatera dan sesar geser mengangan Sumatera.



Gambar 1 Peta tektonik wilayah Indonesia (Geologi 2008)

Kondisi ini menjadikan pulau Sumatera sebagai salah satu sumber energi panas bumi terbesar di Indonesia (Bird, 2003). Gambar 1 merupakan peta tektonik wilayah Indonesia. Sumber energi panas bumi di bawah permukaan sering kali ditunjukkan oleh adanya manifestasi panas bumi di permukaan (*geothermal surface manifestation*). Manifestasi panas bumi di permukaan ini dapat berupa mata air panas yaitu aliran air panas/hangat dari bawah permukaan melalui rekahan-rekahan batuan. Selain itu dapat juga ditemukan manifestasi permukaan berupa fumarole yaitu lubang kecil yang memancarkan uap panas kering (*dry steam*) atau uap panas yang mengandung butiran-butiran air (*wet steam*) (Saptadji, 2006). Fluida panas bumi banyak mengandung senyawa-senyawa kimia yaitu Cl, Na, Cs, HCO_3 , K, Mn, SO_4 , Ca, Fe, F, Li, Al, Br, Mg, Rb, I, As, SiO_2 , CO_3 , B, NH_3 , dan gas-gas yang tidak terkondensasi. Kandungan kimia fluida panas bumi di suatu tempat tidak sama dengan di tempatlainnya, tidak hanya dari lapangan ke lapangan, tetapi juga dengan yang diperoleh dari suatu tempat dan tempat lainnya meskipun keduanya terdapat di lapangan yang sama. Konsentrasi ion yang

berbeda-beda dapat disebabkan karena banyak hal, antara lain karena perbedaan temperatur, kandungan gas, sumber air, jenis batuan, kondisi dan lamanya interaksi air batuan serta adanya pencampuran antara air dari satu sumber dengan air dari sumber lainnya. Kandungan unsur-unsur Na, K, Li, Rb dan Cs dalam fluida merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan keadaan kesetimbangan lingkungan karena zat-zat tersebut merupakan zat terlarut yang bersifat reaktif. Untuk mengetahui temperatur suatu lingkungan, dapat diketahui melalui perbandingan konsentrasi Na dan K dan untuk mengetahui karakteristik fluida dapat diketahui dengan menggunakan unsur Li, Rb dan Cs yang sering dipakai bersama unsur Cl dan B (Aribowo, 2011). Selain itu dari jenis kandungan kimia air tersebut dapat diketahui informasi sumber aliran fluida dari manufer tersebut. Kusnadi, D, et.al., (2005) telah melakukan penelitian mengenai estimasi temperatur dan tipe fluida menggunakan penyelidikan geokimia pada lapangan Panas Bumi Bumidi Pulau weh, Sabang. Penelitian tersebut hanya meneliti mengenai estimasi temperatur dan tipe fluida panas bumi tersebut. Berdasarkan hal di atas maka pada

penelitian ini ingin dikaji kandungan kimia apa saja ya terdapat pada air panas bumi. Selain itu juga ingin mengetahui zona aliran fluidanya berdasarkan kandungan senyawa kimia.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Jaboi Sabang, Pulau Weh. Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel di setiap lokasi yang sebelumnya diketahui koordinat lokasinya menggunakan GPS. Kemudian sampel tersebut diuji dan dianalisa di laboratorium Balai Riset dan Standarisasi (Baristand) Banda Aceh. Pengujian sampel dilakukan untuk mengetahui konsentrasi dari kandungan kimia yang terkandung dalam mata air panas tersebut. Kandungan kimia yang bersifat kation (logam) akan diuji menggunakan metode spektrofotometer serapan atom (SSA) sedangkan kandungan kimia yang bersifat anion (non-logam) akan diuji dengan metode titrasi.

Pengolahan dan interpretasi data

Konsentrasi dari kandungan kimia fluida panas bumi yang diperoleh, diinterpretasi untuk mengetahui zonasi dari fluida panas bumi pada masing-masing sampel. Konsentrasi kandungan kimia tersebut diinterpretasi menggunakan 2 cara yaitu berdasarkan nilai perbandingan 2 kandungan kimia dan berdasarkan nilai perbandingan 3 kandungan kimia yang akan diplotkan ke dalam diagram segitiga Ternary. Pengeplotan diagram segitiga ini menggunakan aplikasi XLSTAT. Diagram segitiga yang digunakan yaitu:

1. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ digunakan untuk mengetahui jenis fluida lapangan panas bumi Jaboi, Sabang. *Plotting* posisi data pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ berdasarkan persamaan (1) – (4).

$$S = [Cl] + [SO_4] + [HCO_3] \quad (1)$$

$$\% Cl = (100 [Cl]) / S \quad (2)$$

$$\% SO_4 = (100 [SO_4]) / S \quad (3)$$

$$\% HCO_3 = (100 [HCO_3]) / S \quad (4)$$

2. Diagram Na-K-Mg digunakan untuk mengetahui kondisi kesetimbangan fluida panas bumi Jaboi, Sabang. *Plotting* posisi data pada diagram segitiga Na – K – Mg berdasarkan persamaan (5) – (8).

$$S = ([Na]/1000) + ([K] / 100) + [Mg]^{1/2} \quad (5)$$

$$\% Na = (100([Na] / 1000))/S \quad (6)$$

$$\% Mg = (100 [Mg]^{1/2}) / S \quad (7)$$

$$\% K = [K]/S \quad (8)$$

3. Diagram Cl-Li-B digunakan untuk mengetahui asal-usul dan kesamaan reservoir fluida panas bumi Jaboi, Sabang. *Plotting* posisi data pada diagram segitiga Cl-Li-B berdasarkan persamaan (9) – (12).

$$S = [Cl]/100 + [Li] + [B]/4 \quad (9)$$

$$\% B = (([B]/4)/S).100 \quad (10)$$

$$\% Li = ([Li]/S).100 \quad (11)$$

$$\% Cl = [Cl]/S \quad (12)$$

Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian sampel maka diketahui konsentrasi kandungan senyawa kimia terlarut dalam fluida pada sumber air panas Jaboi seperti terlihat pada Tabel 1. Dari tabel terlihat bahwa konsentrasi senyawa terlarut tertinggi dari kedua sampel adalah senyawa SO₄²⁻ yaitu pada sampel I sebesar 3500 mg/L dan sampel II sebesar 5400 mg/L. Sedangkan konsentrasi senyawa terlarut terendah pada kedua kawah yaitu HCO₃⁻ sebesar 0,12 mg/L.

Tabel 1. Data konsentrasi kandungan kimia terlarut dalam fluida panas bumi pada Kawah I dan Kawah II Jaboi, Sabang. (Sumber: Laboratorium Baristand No. BAPC: 257/Insd/L/07/2018)

Kandungan Kimia	Kawah I (mg/L)	Kawah II (mg/L)
HCO ₃ ⁻	0,12	0,12
Cl ⁻	155,27	155,27
SO ₄ ²⁻	3500,00	5400,00
Ca ²⁺	19,58	1,46
K ⁺	36,46	20,58
Mg ²⁺	67,98	24,63
Na ⁺	85,84	23,34
B	2,00	2,00
Al ³⁺	263,20	270,50
Li ⁺	0,18	0,19
SiO ₂	350,61	352,97

Berdasarkan konsentrasi senyawa kimia terlarut tersebut, maka sumber air panas Bumi jaboi, Sabang bertipe air sulfat. Air sulfat biasanya terjadi di daerah panas bumi yang dikontrol oleh kegiatan vulkanik aktif dimana uap terkondensasi menjadi air permukaan. Air tipe ini memiliki ion SO₄ yang tinggi

dan HCO_3 sangat rendah (terkadang 0). Menurut penelitian Emianto dan Aribowo, 2011, air tipe ini biasanya dapat ditemukan di daerah yang tidak terlalu jauh dari area upflow utama. Dimana pH fluida panas bumi kedua sampel tersebut bersifat asam yaitu pH sampel I = 2,57 dan pH pada sampel II = 2,89. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Saputri, 2019, Estimasi temperatur reservoir di daerah lapangan panas bumi Jaboi termasuk ke dalam sistem temperatur sedang yaitu sekitar 125 - 225°C. Berdasarkan data kandungan kimia yang diperoleh, dapat digunakan juga untuk mengetahui karakteristik dan zonasi fluida panas bumi pada kedua kawah tersebut dengan dua cara yaitu berdasarkan nilai perbandingan unsur dan berdasarkan plot diagram Ternary.

Nilai Perbandingan Unsur

Zonasi fluida panas bumi dapat diketahui menggunakan empat jenis perbandingan yaitu perbandingan Cl/SO_4 , Na/K , SO_4/HCO_3 dan B/Li . Perbandingan Cl/SO_4 , Na/K dan B/Li digunakan untuk mengetahui indikasi zona *upflow* (nilai perbandingan rendah). Sedangkan perbandingan SO_4/HCO_3 digunakan juga untuk mengetahui indikasi zona *upflow* dengan nilai perbandingan tinggi (Nicholson, 1993). Data nilai perbandingan kandungan kimia terlarut pada fluida panas bumi tersebut terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Perbandingan Kandungan Kimia terlarut pada Fluida Panas Bumi

Perbandingan Kandungan Kimia	Sampel	
	I	II
Cl/SO_4	0,04	0,03
Na/K	2,35	1,13
SO_4/HCO_3	28688,52	44262,29
B/Li	11,11	10,53

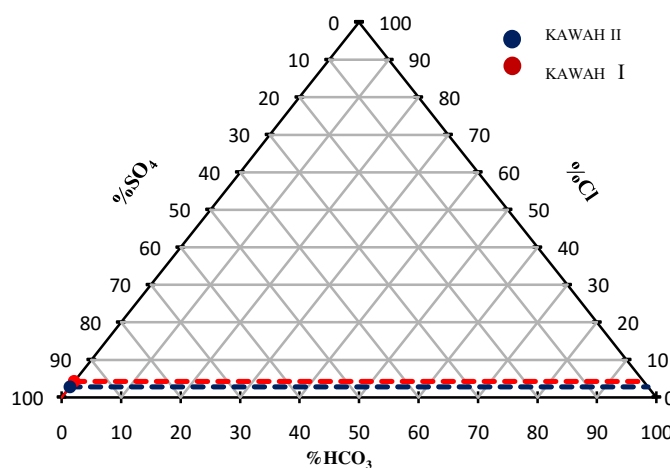
Berdasarkan perbandingan nilai kandungan kimia terlarut Cl/SO_4 , Na/K , dan B/Li , kawah II memiliki nilai perbandingan yang lebih rendah daripada sampel I sedangkan berdasarkan perbandingan SO_4/HCO_3 , sampel II memiliki nilai perbandingan yang lebih tinggi daripada sampel I. Sehingga, mengindikasikan bahwa sampel II berada di zona *upflow* yang semakin ke arah kawah I semakin mengarah ke zona *outflow*. Akan tetapi, dikarenakan nilai perbandingan antara sampel I dan sampel II tidak jauh berbeda maka dapat dikatakan bahwa kawah I juga masih berada di zona *upflow*.

Diagram Ternary

Persentase dari nilai konsentrasi kandungan kimia terlarut pada fluida panas bumi yang didapatkan selanjutnya diplot dalam diagram Ternary atau diagram segitiga. Diagram segitiga yang digunakan yaitu diagram $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$, diagram $\text{Cl}-\text{Li}-\text{B}$, dan diagram $\text{Na}-\text{K}-\text{Mg}$.

Diagram $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$

Komponen Cl , SO_4 , HCO_3 digunakan untuk mengetahui komposisi fluida panas bumi disebabkan karena zat terlarut yang paling banyak dijumpai dalam fluida panas bumi. Diagram $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$ digunakan untuk menentukan tipe fluida air pada masing masing kawah seperti yang terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan diagram segitiga $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$, kedua kawah memiliki kadar unsur sulfat (SO_4) yang tinggi yaitu lebih dari 95% dibandingkan dengan unsur Cl dan HCO_3 . Banyaknya unsur SO_4 yang terdapat pada kedua kawah tersebut merupakan hasil dari oksidasi hidrogen sulfida dengan oksigen. Kemudian tingginya kandungan sulfat juga mengindikasikan rendahnya kandungan bikarbonat pada sampel tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil laboratorium yang dilakukan yaitu sebesar 2 mg/L.

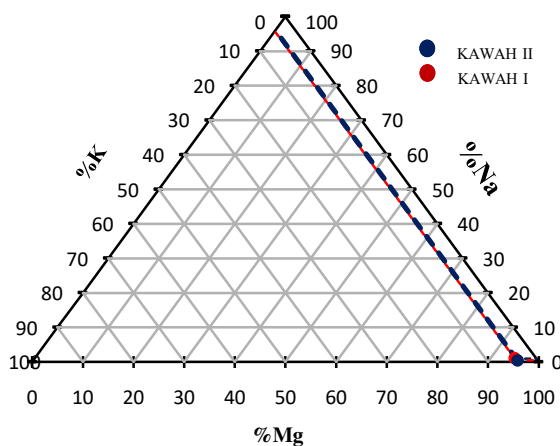


Gambar 2. Diagram segitiga $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3$

Proses oksidasi dari hidrogen sulfida ke dalam ion sulfat menghasilkan pH asam di kedua kawah ($\text{pH}=2,57$ dan $2,89$) yang diduga terdapat kontribusi gas magmatik. Berdasarkan komposisi unsur kimia air, sampel I dan II termasuk ke dalam air asam sulfat dimana air ini termasuk ke dalam zona keluaran yang dekat dengan zona *upflow* seperti fumarol, tanah beruap dan air yang dipanaskan oleh uap (*steam heated water*) (Nicholson, 1993).

Diagram Na-K-Mg

Diagram segitiga Na-K-Mg digunakan untuk menentukan kesetimbangan pada fluida panas bumi seperti terlihat pada Gambar 3. Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg, konsentrasi persen Mg cukup tinggi dari kedua kawah, dimana sampel I sebesar 94,82% dan sampel II sebesar 95,59%. Menurut Nicolas, 1993, unsur Mg yang berada di dalam suatu sistem panas bumi berjumlah sangat sedikit sehingga persentase Mg yang sangat besar yang diperoleh tersebut terindikasi berasal dari air permukaan.



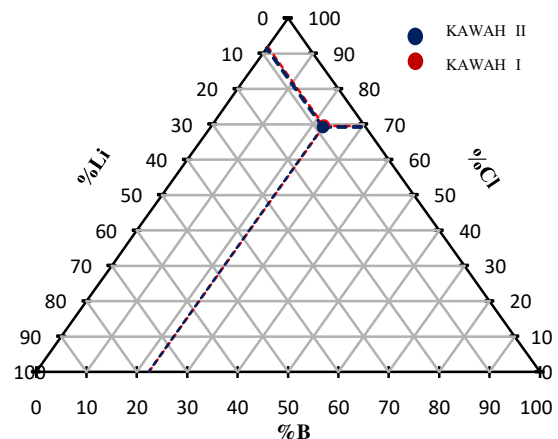
Gambar 3. Diagram segitiga Na-K-Mg

Berdasarkan diagram segitiga Na-K-Mg, menginformasikan juga bahwa kedua sampel terdapat di bagian *immature water* yang berarti kondisi air belum mencapai titik kesetimbangan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa fluida panas bumi di daerah penelitian telah berinteraksi dengan batuan dalam keadaan panas dan terjadi pencampuran dengan air permukaan yang cukup dominan ketika aliran fluida dekat dengan permukaan.

Diagram Cl-Li-B

Diagram Cl-Li-B digunakan untuk menjelaskan karakteristik sistem panas bumi seperti asal-usul dan pengenceran fluida pada tiap sampel dengan melihat kandungan relatifnya berdasarkan konsentrasi Cl, Li, dan B ditunjukkan Gambar 4. Hasil plot persentase data kandungan kimia Cl, Li dan B pada kedua kawah menunjukkan sampel air panas berada pada daerah dominan Cl. Konsentrasi Cl yang tinggi sebesar 69,54% pada sampel I dan 69,23% pada sampel II mengindikasikan bahwa air panas yang naik ke permukaan merupakan fluida yang berasal dari sumber panas dengan pendinginan yang sangat

sedikit oleh batuan sekitar aliran fluida atau dapat dikatakan bahwa fluida masih terpengaruh oleh aktivitas magma gunung berapi.



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-Li-B

Tingginya konsentrasi Cl disebabkan karena Cl termasuk unsur yang susah bereaksi, mudah berpindah dan bersifat tetap sehingga dapat dilacak asal-usulnya (Nicholson, 1993). Naiknya unsur Cl ke permukaan akibat tekanan yang tinggi di bawah permukaan. Dari diagram tersebut juga terlihat seluruh sampel berada jauh dari unsur B, yang menandakan bahwa selama perjalanan mata air panas dari sumber panas ke permukaan terjadi sedikit pengenceran oleh batuan yang dilewati oleh aliran air panas. Unsur B dalam larutan merupakan unsur yang sukar bereaksi. Konsentrasi unsur B yang sedikit menandakan bahwa terjadi sedikit asosiasi panas bumi dengan batuan sedimen yang kaya zat organik (Nicholson, 1993). Proses pencucian oleh batuan samping yang berupa batuan beku yang bersifat asam menyebabkan rendahnya kandungan unsur B (Aulia, 2014). Sampel air panas juga berada jauh dari unsur Li pada diagram segitiga Cl-Li-B. Hal tersebut mengindikasikan bahwa mata air panas berada jauh dari sumber panas sistem panas bumi. Unsur Li memiliki konsentrasi yang lebih kecil dari pada unsur Cl dan B di dalam fluida panas bumi. Unsur Li mudah terserap oleh mineral sekunder seperti klorit, kuarsa dan lempung, sehingga semakin jauh jarak migrasi fluida ke permukaan maka konsentrasinya akan semakin berkurang. Unsur Li juga dapat menunjukkan zonasi fluida, pada zona *upflow* perbandingan B/Li rendah sedangkan pada zona *outflow* perbandingan B/Li tinggi (Nicholson, 1993). Dari hasil plotting diagram Cl-Li-B juga terlihat bahwa titik-titik sampel berdekatan sehingga dapat diinterpretasikan bahwa

fluida panas bumi pada kedua kawah berasal dari sumber reservoir yang sama.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis senyawa kimia air pada fluida panas bumi daerah penelitian diperoleh bahwa kandungan kimia air didominasi asam sulfat (SO_4) dengan konsentrasi di dua lokasi masing-masing 95% dan 97%. Sedangkan tipe fluida pada lokasi yang sama dominan klorida yang tinggi dan berada pada zona *upflow*. Fluida panas bumi (kimia air) yang muncul ke permukaan diduga berasal dari aktivitas magma.

Referensi

- Aribowo Y. (2011). Temperature Prediction Of Geothermal Reservoir with Geothermometer Method, *Journal of Applied Geophysics* **32** 3 234-236.
- Aulia, M. Z. (2014). Karakterisasi Panas Bumi TP dengan Analisis Data Geokimia dan Model Magnetotellurik untuk Menentukan Lokasi Titik Bor Eksplorasi, Tugas Akhir. Universitas Lampung, Lampung.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics Geosystems* **4**(3).
- Dirasutisna, S dan A. Rachman Hasan. (2005). *Geologi Panas Bumi Jaboi, Sabang, Provinsi Aceh Nanggroe Darussalam*. Subdirektorat Panas Bumi Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral.
- Direktorat Panas Bumi, Ditjen EBTKE Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi. (2017). *Potensi panas bumi indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Emianto, Y.B dan Aribowo Y. (2011). Studi Geokimia Fluida Panas Bumi Daerah Prospek Panas Bumi Nglimut, G. Ungaran Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal Jawa Tengah, *Teknik* **32** 3 230-233
- Isa, Muhammad. (2014). *Development of New Technique To Determine Potential Geothermal Area Over Jaboi, Aceh-Indonesia*, Disertasi. Universitas Sains Malaysia, Malaysia.
- Kusnadi, D., et al. (2005). Penyelidikan Geokimia Panas Bumi Daerah Jaboi, Kota Sabang, Nanggroe Aceh Darussalam. *Jurnal Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi* **2** 1.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Springer-Verlag, Berlin.
- Saptadji, N. M. (2006). *Teknik Panas Bumi*. ITB Press, Bandung.
- Saputri, N. S. (2019). Estimasi Temperatur Reservoir dan Tipe Fluida Lapangan Panas Bumi Jaboi, Sabang, *Skripsi*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh .

