

Studi Kimia Fisik Fluida pada Manifestasi Panas Bumi Danau Linow

*) Vincensius Jamlean, Cyrke A. N. Bujung, dan Alfrie M. Rampengan
Prodi Fisika FMIPA, Universitas Negeri Manado, Tondano, 95619, Indonesia
*e-mail: jamleanvinsen07@gmail.com

Diterima 3 Oktober 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRAK

Danau Linow merupakan salah satu danau vulkanik yang memiliki aktivitas panas bumi ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas yang muncul di permukaan. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengkaji tipe fluida dan temperatur reservoir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis ion kandungan fluida menggunakan spektrometri, pH, perhitungan geotermometer SiO_2 dan Na-K-Ca serta analisis fisik fluida berupa kenampakan fisik manifestasi mata air panas. Hasil penelitian menunjukkan mata air panas berada di Danau Linow bertipe *immature water* dengan persentase konsentrasi unsur Mg yang tinggi, diinterpretasikan terjadi proses pengenceran dengan unsur lain dan pencampuran dengan air meteorik yang kaya akan unsur Mg. Perhitungan menggunakan persamaan geotermometer air pada sampel mata air panas di daerah tersebut diperkirakan memiliki temperatur reservoir $92,85^\circ\text{C}$ - $127,9^\circ\text{C}$.

Kata kunci: Danau Linow, Panas Bumi, Tipe Fluida, Spektrometri, Temperatur Reservoir

ABSTRACT

Lake Linow is one of the volcanic lakes that has geothermal activity characterized by geothermal manifestations in the form of hot springs that appear on the surface. The purpose of this research is to study the type of fluid and estimate the reservoir temperature. The methods used in this research are ion analysis of fluid content using spectrometry, pH, and physical analysis of fluids in the form of physical appearance manifestations of hot springs. The results showed that the hot springs in Lake Linow are immature water types with a high percentage of Mg concentration. It is interpreted that there is a process of dilution with other elements and mixing with meteoric water which is rich in Mg elements. Calculations using water geothermometer equations on hot spring samples in the area are estimated to have a reservoir temperature of 92.85°C - 127.9°C .

Keywords: Linow Lake, Geothermal, Fluid Type, Spectrometry, Reservoir Temperature

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi adalah energi panas alami yang berasal dari interaksi antara panas yang dipancarkan melalui batuan panas dengan air (fluida) yang terkandung di bawah permukaan. Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber energi panas bumi terbesar dunia, yang berbanding lurus dengan banyaknya aktivitas vulkanik. Secara alami, keberadaan sumber panas bumi umumnya berada bersamaan dengan gunung api. Pada tahun 2019 sebanyak 319 lapangan panas bumi ditemukan. Seperti yang diketahui bahwa panas bumi dalam bentuk uap air adalah salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk menggerakkan pembangkit listrik. Pada tahun 2021, Indonesia menghasilkan total energi listrik sebesar 2.174 MW atau sekitar 3% yang baru dimanfaatkan. Jumlah sebanyak ini tersebar di beberapa wilayah Sumatera, Jawa-Bali, dan Sulawesi.

Sulawesi Utara merupakan daerah yang memiliki potensi panas bumi, yang ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi di beberapa lokasi seperti Lahendong. Lahendong merupakan salah satu daerah yang memiliki lapangan panas bumi. Daerah sekitar lapangan panas bumi Lahendong juga sering dijumpai beberapa manifestasi panas bumi yang muncul, tepatnya berada di Danau Linow.

Danau Linow merupakan danau vulkanik yang memiliki aktivitas panas bumi yang ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Hal ini menandakan bahwa daerah tersebut memiliki potensi panas bumi. Namun sampai saat ini, potensi panas bumi di daerah tersebut belum dikembangkan karena kurangnya kajian pengetahuan tentang penentuan karakteristik potensi panas bumi.

Dalam menentukan karakteristik potensi panas bumi di suatu daerah perlu dilakukan penelitian pada manifestasi permukaan, salah satunya adalah studi kimia fisik pada

manifestasi berupa tipe fluida dan perkiraan temperatur reservoir. Penelitian ini ditunjukan untuk mengkaji tipe fluida dan temperatur reservoir pada manifestasi panas bumi yang berada di Danau Linow.

2. KAJIAN TEORI

Sistem Panas Bumi

Panas bumi merupakan energi panas yang terbentuk secara alami dan tersimpan dalam bentuk air panas atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Hochstein dan Browne (2000) mendefinisikan sistem panas bumi sebagai perpindahan panas secara alami dalam volume tertentu di kerak bumi dimana panas dipindahkan dari sumber panas ke zona pelepasan panas.

Secara umum sistem panas bumi (*geothermal system*) dapat diartikan sebagai sistem penghantaran panas di dalam mantel atas dan kerak bumi dimana panas dihantarkan dari suatu sumber panas (*heat source*) menuju suatu tempat penampungan panas (*heat sink*).

Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif normal, terutama pada bagian tepi lempeng utama dimana gradien panas bumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Saptadji, 2009). Terdapat empat elemen penting yang berpengaruh dalam sistem panas bumi, terutama sistem panas bumi hidrotermal yang terdapat di sebagian besar Indonesia, yaitu (Nurhadi, 2015).

- Sumber Panas (*Heat Source*)
- Fluida Panas Bumi
- Reservoir
- Batuan Penudung (*Caprock*)

Manifestasi panas bumi di permukaan panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.

Geokimia Panas Bumi

Metode geokimia dalam penelitian eksplorasi panas bumi digunakan untuk mengkaji kemungkinan pengembangan sumber daya panas bumi. Geokimia panas bumi mempelajari dan menganalisis komposisi fluida panas bumi (air dan uap) yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik fluida dan proses-

proses yang dialaminya. Analisis yang dilakukan dalam geokimia panas bumi yaitu analisis geokimia air, analisis geokimia gas, analisis isotop stabil, dan estimasi suhu reservoir menggunakan geotermometer. Hasil yang diharapkan dari analisis geokimia panas bumi adalah mengetahui jenis fluida, pola aliran fluida, proses-proses yang dialami fluida, dan estimasi suhu reservoir.

Geoindikator Na-K-Mg

Diagram segitiga Na-K-Mg ditunjukan oleh Giggenbach (1988) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk pendugaan temperatur reservoir dan mengetahui air yang mencapai keseimbangan dalam litologi. Terdapat tiga jenis fluida ini dalam diagram segitiga Na-K-Mg, yaitu:

- Immature waters* menandakan bahwa fluida telah bercampur dengan fluida lain dari permukaan (air meteorik).
- Partial equilibrium* menandakan bahwa terjadinya kesetimbangan sebagian antara batuan penyusun reservoir dengan fluida.
- Full equilibrium* menandakan bahwa fluida bersumber langsung dari reservoir panas bumi.

Posisi pengeplotan pada diagram segitiga Na-K-Mg dapat ditentukan persamaan sebagai berikut:

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

$$\% Na = \frac{[Na]}{(10 S)} \quad (2)$$

$$\% K = \frac{[K]}{S} \quad (3)$$

$$\% Mg = \frac{(100[Mg]^{1/2})}{S} \quad (4)$$

Menurut Giggenbach (1988), $[Na]/1000$, $[K]/100$, dan $[Mg]^{1/2}$ didapatkan dari kesetimbangan penuh dengan kestabilan termodinamika pada sistem mineral melalui rekristalisasi kimia atau pemurnian zat padat dari campuran atau pengotornya dengan cara mengkristalkan kembali zat tersebut setelah dilarutkan dalam pelarut yang sesuai.

Geotermometer Fluida

Geotermometer merupakan salah satu cara untuk mengetahui perkiraan temperatur reservoir panas bumi yang berdasarkan pada keberadaan zat-zat terlarut pada fluida panas

bumi, dimana konsentrasi fluida tersebut sangat tergantung 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 bikarbonat. Geotermometer air dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, diantaranya:

- Sebagai dasar untuk melarutkan konsentrasi terlarut untuk sebuah komponen yang dikendalikan untuk melarutkan mineral (*quartz geothermometer*)
- Sebagai dasar konsentrasi relatif dari dua komponen atau lebih yang dikendalikan untuk reaksi perpindahan (Na/K geotermometer)

Jenis-jenis geotermometer yang dipakai sebagai parameter untuk menentukan temperatur reservoir adalah sebagai berikut:

- Geotermometer Silika (Fournier, 1977)
Geotermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur. Reaksi yang menjadi dasar pelarutan silika dalam air adalah:



Pada kebanyakan sistem panas bumi, fluida di kedalaman mengalami ekuilibrium dengan kuarsa. Untuk menentukan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan geotermometer dengan kandungan SiO_2 dapat menggunakan persamaan diantaranya:

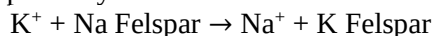
- Quartz-no steam loss*
$$t^\circ\text{C} = \frac{1309}{5,19 - \log \text{SiO}_2} - 273 \quad (5)$$

- Quartz-max steam loss*
$$t^\circ\text{C} = \frac{1522}{5,75 - \log \text{SiO}_2} - 273 \quad (6)$$

- Chalcedony*
$$t^\circ\text{C} = \frac{1032}{4,69 - \log \text{SiO}_2} - 273 \quad (7)$$

- Geotermometer Na-K (Fournier, 1979; Giggenbach, 1988)

Respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperatur fluida didasarkan pada reaksi pertukaran kation yang bergantung pada temperatur yaitu:



Geotermometer Na-K dapat diterapkan untuk reservoir air klorida dengan nilai $T > 180^\circ\text{C}$. Geotermometer ini punya

keunggulan yaitu tidak banyak terpengaruh oleh *steam loss*. Namun, geotermometer ini kurang bagus apabila diaplikasikan untuk $T < 100^\circ\text{C}$. (Simmons, 1998)

Untuk menentukan temperatur bawah permukaan menggunakan geotermometer dengan kandungan Na-K dapat menggunakan persamaan diantaranya:

- Na-K (Fournier, 1979)
$$t^\circ\text{C} = \frac{1217}{(\log \text{Na/K}) + 1,483} - 273 \quad (8)$$

- Na-K (Giggenbach, 1988)
$$t^\circ\text{C} = \frac{1390}{(\log \text{Na/K}) + 1,75} - 273 \quad (9)$$

- Geotermometer Na-K-Ca (Fournier dan Truesdell, 1973)

Dikembangkan oleh Fournier dan Truesdell (1973) dan dapat diterapkan untuk air yang mengandung Ca tinggi. Geotermometer ini adalah empiris, sehingga teori yang mendasarinya belum diketahui secara lengkap (Giggenbach, 1988). Sebagian dari teori dasar geotermometer ini meliputi kesetimbangan antara Na dan K-feldspar, ditambah dengan konversi mineral kalsium aluminosilikat (mis. Plagioklas) ke kalsit. Persamaan geotermometer ini berasumsi bahwa silika hadir secara berlebihan dan aluminium tersimpan sebagai fasa padatan (biasanya juga benar dengan melihat kandungan Al dalam fluida yang rendah).

Persamaan Geotermometer Na-K-Ca adalah sebagai berikut:

$$t^\circ\text{C} = \frac{1647}{\log \left(\frac{\text{Na}}{\text{K}} \right) + \left(\beta \log \left(\frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}} \right) + 2,06 \right) + 2,47} - 273,15 \quad (10)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada mata air panas yang berada di Danau Linow, Desa Lahendong, Kecamatan Tomohon Selatan, Kota Tomohon, Provinsi Sulawesi Utara.

Teknik pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan pada manifestasi mata air panas yaitu dengan mengambil sampel untuk diukur berdasarkan sifat fisik yang berupa pH, temperatur permukaan dan temperatur udara di lokasi penelitian. Untuk sampel mata air panas akan dianalisis dalam laboratorium air untuk mengetahui komposisi kandungan kimiawi fluida mata air panas.

Dalam teknik pengolahan dan analisis data dilakukan dengan mengolah data geokimia

fluida mata air panas secara kuantitatif dan survei lokasi pada manifestasi mata air panas dilakukan secara kualitatif. Hal pertama yang dilakukan dalam pengolahan data geokimia fluida mata air panas adalah uji laboratorium terhadap sampel mata air panas berupa data kandungan *ion balance* Na, K, dan Mg. Kemudian hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan tipe fluida mata air panas menggunakan diagram ternary dan perhitungan perkiraan temperatur reservoir panas bumi menggunakan geotermometer air yang sesuai dengan daerah penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Fisik Mata Air Panas Danau Linow

Pengambilan sampel sumber mata air panas dilakukan secara langsung di daerah pinggiran Danau Linow. Temperatur permukaan mata air panas menggunakan termometer sedangkan pengukuran pH air dengan pH meter serta penentuan lokasi sampel mata air panas menggunakan GPS. Pada koordinat GPS, lokasi sampel mata air panas berada pada 1°16'27"N & 124°49'39"E dengan elevasi 804 m. Lokasi sampel mata air panas Danau Linow terletak di sebelah barat. Temperatur permukaan air yang terukur sebesar 54,2°C dengan suhu udara pada manifestasi tersebut mencapai 30,45°C. Nilai pH fluida mata air panas ini adalah 5,4, yang menunjukkan bahwa mata air panas daerah tersebut bersifat asam. Kenampakan fisik mata air panas ini adalah adanya gelembung yang keluar melalui celah endapan lumpur, warna air berkeruh, dan berbau belerang.

Setelah dilakukan pengukuran fisik mata air panas, selanjutnya dilakukan pengambilan sampel mata air panas untuk dianalisis kandungan kimia mata air panas di Laboratorium Air PT Water Laboratory National Indonesia. Pengukuran kandungan ion sampel mata air panas Danau Linow dilakukan secara spektrometri dengan alat ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*). Pengukuran ICP-OES dilakukan untuk mengukur konsentrasi kandungan Na, K, dan Mg. Berdasarkan hasil pengukuran dari alat ICP-OES, didapati nilai masing-masing ion kandungan dalam sampel mata air panas adalah Na (17,1 mg/L), K (4,7 mg/L) dan Mg (16,8 mg/L). Dari hasil pengukuran fisik dan kandungan ion sampel mata air panas di atas maka diperoleh data

kandungan kimia fisik mata air panas Danau Linow dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Data Kandungan Kimia Fisik Mata Air Panas Danau Linow

No.	Kode Sampel	T _m (°C)	T _a (°C)	pH	Konsentrasi (mg/L)		
					Na	K	Mg
1.	DL	54,2	30,45	5,4	17,1	4,7	16,8

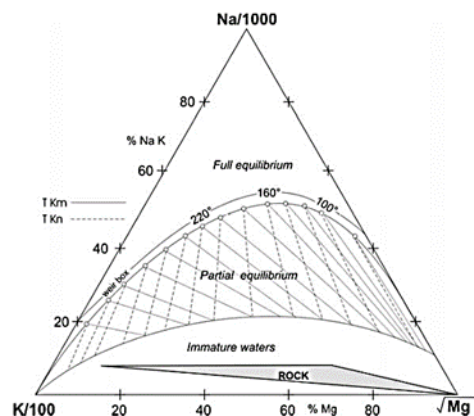
Tipe Fluida Mata Air Panas Danau Linow

Penentuan jenis tipe fluida mata air panas dibutuhkan data kandungan relatif dari Na, K, dan Mg. Data ini diolah dengan menghitung persentase unsur Na, K, dan Mg, yang kemudian hasil persentase unsur tersebut diplot dalam diagram segitiga Na-K-Mg. Perhitungan persentase unsur Na, K, dan Mg menggunakan metode geondikator Na-K-Mg yaitu dengan menjumlahkan semua unsur Na, K, dan Mg. Hasil penjumlahan semua unsur tersebut akan dihitung persentase kandungan relatif dari unsur-unsur terlarut dalam sampel Na, K, dan Mg. Dari hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Nilai Konsentrasi dan Persentase unsur Na, K, dan Mg

No.	Kode Sampel	Konsentrasi (mg/L)			Persentase (%)		
		Na	K	Mg	Na	K	Mg
1.	DL	17,1	4,7	16,8	0,410	1,129	98,459

Berdasarkan hasil plotting persentase unsur Na, K, dan Mg dalam diagram segitiga Na-K-Mg pada Gambar 1. didapati bahwa mata air panas yang berada pada Danau Linow bertipe *immature water* dan memiliki kadar unsur Mg yang cukup tinggi daripada unsur Na dan K.



Gambar 1. Hasil plotting diagram segitiga Na-K-Mg Daerah Panas Bumi Danau Linow

Sampel yang berada pada daerah *immature waters* menandakan bahwa mata air panas di daerah penelitian tersebut tidak mencapai kesetimbangan atau telah mengalami reaksi dengan unsur lain saat fluida berusaha bergerak menuju ke permukaan. Hal ini didukung penelitian sebelumnya yang menjelaskan fluida reservoir panas bumi telah mengalami pengenceran dengan unsur lain dengan kandungan unsur Mg yang tinggi (Utami & Putra, 2018). Menurut Nicholson (1993), kadar Mg yang tinggi menandakan bahwa mata air panas telah mengalami pencampuran dengan air meteorik atau air tanah yang memiliki konsentrasi Mg yang tinggi.

Hasil plotting persentase unsur Na, K, dan Mg, dimana sampel mata air panas daerah penelitian berada daerah *immature water*. Hal ini mengindikasikan fluida panas bumi di daerah penelitian telah mengalami interaksi dengan batuan panas dan terjadi pencampuran dengan air permukaan yang cukup banyak (Nicholson, 1993). Hasil plot sampel memperlihatkan sampel mata air panas berada pada unsur Mg yang dominan pada diagram segitiga Na-K-Mg. Unsur Mg yang berada dalam suatu sistem panas bumi berjumlah sangat sedikit sehingga persentase unsur Mg yang besar diindikasikan bahwa sampel tersebut bersumber dari air permukaan (meteorik). Kondisi *immature water* menandakan bahwa batuan reservoir terletak pada kondisi temperatur dan tekanan yang tinggi dimana fluida reservoir panas bumi mengalami pengenceran oleh air permukaan sebelum mencapai permukaan (Aribowo dan Nurohman, 2012).

Ditinjau dari persentase Na yang didapati, kadar unsur Na dalam air panas di sampel tersebut berada 0,410% . Na merupakan unsur yang dikontrol oleh interaksi fluida dengan batuan panas pada sistem panas bumi. Rendahnya kandungan Na dalam sampel mata air panas mengindikasikan bahwa temperatur reservoir fluida panas bumi berada di bawah 250°C.

Diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan unsur K yang kecil. Unsur K dikontrol oleh interaksi fluida panas bumi dengan batuan panas pada sistem panas bumi dengan reservoir bertemperatur tinggi. Unsur K yang kecil dalam sampel mata air panas mengindikasikan bahwa aliran fluida panas bumi mengalami lambat saat bergerak menuju ke permukaan. Ini mengindikasikan bahwa

fluida panas bumi telah terjadi proses pencampuran antara air panas yang bersumber dari fluida panas bumi dengan air permukaan yang dekat di permukaan.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa temperatur permukaan pada lokasi penelitian berkisar 54,2°C. Temperatur permukaan yang diukur tersebut merupakan temperatur sedang untuk fasa air. Daerah yang bertipe fluida *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg menandakan bahwa fluida panas bumi telah bercampur dengan air meteorik yang lebih dingin sehingga menyebabkan temperatur fluida panas bumi yang naik ke permukaan menjadi berkurang.

Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan

Berdasarkan unsur kimia dan karakteristik mata air panas, persamaan geotermometer air yang digunakan untuk menghitung perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir), yaitu dengan menggunakan persamaan geotermometer silika (Fournier, 1977) pada kondisi *quartz no steam loss* dan persamaan geotermometer Na-K-Ca (Fournier dan Truesdell, 1973) dengan $\beta = 4/3$ dengan persyaratan suhu < 100°C.

Hasil perhitungan perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) dari sampel mata air panas Danau Linow memiliki temperatur bawah permukaan yang berbeda-beda (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Geotermometer Silika (SiO₂) dan Na-K-Ca

No.	Kode Sampel	Geotermometer SiO ₂	Geotermometer Na-K-Ca
		Quartz-no steam loss (Fournier, 1977)	Fournier dan Truesdell (1977)
1.	DL	127,9°C	92,85°C

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan geotermometer silika (SiO₂) pada kondisi *quartz no steam loss* memperlihatkan bahwa perkiraan temperatur reservoir sebesar 127,9°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur reservoir panas bumi di daerah penelitian telah mengalami proses *boiling* saat menuju permukaan.

Dari hasil perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan geotermometer Na-K-Ca memperlihatkan bahwa nilai perkiraan temperatur reservoir sebesar 92,85°C.

Hal ini dapat dilihat adanya kandungan Ca yang tinggi dan kandungan silika yang terdapat pada sampel mata air panas tersebut.

Terdapatnya perbedaan hasil nilai perhitungan geotermometer fluida yang berbeda-beda hal ini dimungkinkan karena fluida panas bumi pada saat perjalanan menuju ke daerah permukaan telah terjadi kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lain dari batuan dan mengalami pengenceran dengan air tanah dangkal sehingga membentuk kesetimbangan baru (Gentana, D., dkk., 2020).

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida panas bumi Danau Linow diperkirakan memiliki nilai temperatur bawah permukaan berkisar 92,85°C-127,9°C dan termasuk ke dalam kategori sistem panas bumi bertemperatur rendah-sedang (Hochstein & Browne, 2000)

5. KESIMPULAN

Fluida mata air panas di Daerah Danau Linow memiliki tipe fluida *immature water* yang menandakan bahwa fluida panas bumi di daerah Danau Linow telah mengalami proses pengenceran dan pencampuran dengan air meteorik yang kaya akan unsur Mg. Danau Linow memiliki temperatur bawah permukaan berkisar 92,85°C-127,9°C dan termasuk sistem panas bumi bertemperatur rendah menuju sedang.

6. REFERENSI

Aribowo, Y., & Nurrohman, H. (2012). Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panas Bumi Gunung Kendalisodo Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Teknik* Vol.33, No.1, 32-36.

Fournier, R.O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5, 41-50.

Fournier, R.O. (1979). A revised equation for the Na/K geotermometer. *Geothermal resources council*, 221-224.

Fournier, R.O., & Trusdell, A.H. (1973). An empirical Na-K-Ca geotermometer for natural water. *Geochimica Cosmochimica Acta* 37, 1255-1275.

Gentana, D., Haryanto, D.A., Hutabarat, J., (2020). *Geochemical and Isotope Analyses in Geothermal System of Mt. Rendingan and Its Surrounding, Lampung Province, South Part of*

Sumatra. Proceeding 5th International Confrences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020).

Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749-2765.

Hochstein, M.P., & Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. Academic Press.

Nicholson, K., (1993). *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag Inc: Berlin.

Nurhadi, M., & Dedi. (2015). Survei Geologi dan Geokimia Daerah Panas bumi Pulau Bantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Survei Geologi dan Geokimia* 3-12. PSDG: Bandung.

Saptadji, M.N. (2009). *Energi Panas Bumi di Indonesia*. ITB: Bandung.

Saptadji, M.N.(2009). *Karakteristik Reservoir Panas Bumi*. Bandung: Geothermal ITB, Institut Teknologi Bandung.

Simmons, S.F. (1998). *Geochemistry Lecture Note*. University of Auckland: Auckland.

Utami, D.Z., & Putra, A. (2018). Penentuan Karakteristik Fluida dan Estimasi Temperatur Reservoir Panas Bumi di Sekitar Gunung Talang. *Jurnal Fisika Unand*, 7(2), 130-137.