



**PENDUGAAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN PADA  
MANIFESTASI PANAS BUMI BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA AIR  
PANAS DAERAH KECAMATAN TEHORU, KABUPATEN MALUKU  
TENGAH, PROVINSI MALUKU**

Yusuf Mehdi Khairi Toisuta, Agus Didit Haryanto, Johanes Hutabarat, Dewi Gentana

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.

Korespondensi: toisutayusuf@gmail.com / yusuf17003@mail.unpad.ac.id

**ABSTRAK**

Daerah penelitian berada di Desa Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Secara geografis terletak pada koordinat  $129^{\circ}30'25,05''$  -  $129^{\circ}33'37,59''$  BT dan  $3^{\circ}21'37,05''$  -  $3^{\circ}24'50,25''$  LS, dipilih sebagai lokasi penelitian karena terdapat manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi dan perkiraan temperatur bawah permukaan. Penelitian ini menggunakan dua metode yaitu pengamatan lapangan dan analisis berdasarkan data hasil laboratorium kimia mata air panas (THR-1, THR-2 dan THR-3). Hasil plotting rasio unsur kimia mata air panas pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> memperlihatkan ketiga mata air panas termasuk tipe air bikarbonat pada kondisi "*pheripiral waters*" dengan kandungan HCO<sub>3</sub> dominan. Hasil plotting rasio unsur kimia dari mata air panas pada diagram segitiga Cl-Li-B memperlihatkan ketiga mata air panas di posisi tengah diagram segitiga Cl, Li dan B. Rasio unsur Cl dan B relatif seimbang, dengan kandungan Li yang rendah, dikarenakan Li mudah terserap oleh mineral sekunder seperti klorit, kuarsa dan lempung, akibat reaksi dengan batuan sampling yang dilaluinya saat fluida bergerak ke permukaan. Hasil plotting rasio unsur kimia dari mata air panas pada diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan ketiga mata air panas terbentuk pada kondisi "*partial equilibrium*" mengindikasikan mata air panas yang muncul ke permukaan dipengaruhi oleh interaksi antara fluida dengan batuan dalam keadaan panas bercampur dengan air permukaan. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan geotermometer fluida terhadap ke tiga sampel mata air panas diperkirakan memiliki temperatur reservoir,  $129^{\circ}\text{C}$ - $175^{\circ}\text{C}$  (sistem panas bumi bersuhu sedang).

**Kata Kunci:** Tehoru, Manifestasi Panas Bumi, Karakteristik Fluida Panas Bumi, Geotermometer Fluida, Temperatur Bawah Permukaan.

## **ABSTRACT**

*The research area is located in Tehoru Village, Central Maluku Regency, Maluku Province. Geographically, is located at coordinates 129°30'25,05"-129° 33'37,59" East Longitude and 3°21'37,05"-3°24'50,25" South Latitude, chosen as the research area because there are surface geothermal manifestations in the form of hot springs. The research objective was to determine the characteristics of the geothermal fluid and the estimated subsurface temperature. This study used two methods, namely field observation and analysis based on data from the hot springs chemistry laboratory (THR-1, THR-2 and THR-3). The plotting of the chemical elements ratios of Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> triangle diagram shows the three hot springs are belong to the type of bicarbonate of water in the "peripheral waters" condition with a dominant HCO<sub>3</sub> element. The plotting of the chemical elements ratios of Cl-Li-B triangle diagram shows the three hot springs located in the center of Cl, Li, and B triangle diagram. The elements ratios of Cl and B relatively balanced, with low Li element, because Li were easily absorbed by secondary minerals such as chlorite, quartz and clay, as a result of reactions with the side rock which through when the fluid moves to the surface. The plotting of the chemical elements ratios of Na-K-Mg triangle diagram shows the three hot springs are included in "partial equilibrium", which indicates the manifestations that appear to the surface are influenced by the interaction between fluid and rock in a hot condition that mixed with meteoric water. The results of calculations using a fluid geothermometer equation of the hot springs samples can be estimated the reservoir temperature is between ; 129°C-175 °C(intermediate reservoir system).*

*Keywords: Tehoru, Geothermal Manifestations, Characteristics of Geothermal Fluid, Fluid Geothermometer, Subsurface Temperature.*

## **1. PENDAHULUAN**

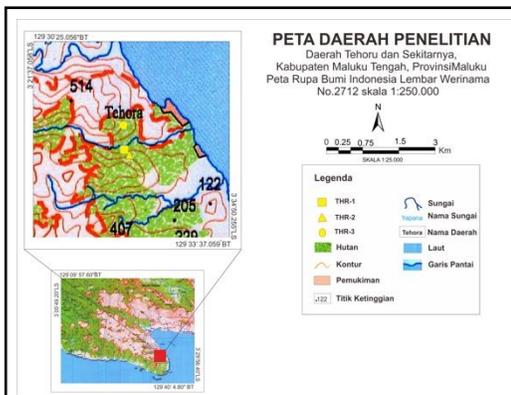
Panas bumi (*geothermal*) adalah sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk di dalam reservoir bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan panas. Sistem panas bumi merupakan salah satu sistem yang terjadi dalam proses geologi yang berjalan dalam orde ratusan bahkan jutaan tahun yang membawa manfaat bagi manusia baik dimanfaatkan secara langsung untuk

pariwisata, pertanian dan peternakan. Pemanfaatan panas bumi secara tidak langsung dikembangkan sebagai energi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

Indonesia memiliki potensi sumber daya panas bumi yang sangat besar yaitu sekitar 40% dari sumber daya panas bumi dunia atau setara 23,9 GW, dengan kapasitas terpasang sebesar 2.130,7 MW yang setara dengan 8,9%

dari total sumber daya yang dimiliki Indonesia. Melimpahnya sumber daya panas bumi di Indonesia disebabkan karena Indonesia merupakan salah satu negara yang dilewati oleh cincin api (*ring of fire*) yang membentuk jalur gunung api. Potensi sumber daya panas bumi Indonesia tersebar di Pulau Sumatra, Jawa, Bali, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Timur dan Papua Barat. (EBTKE, 2021).

Daerah Tehoru berada pada wilayah Kecamatan Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Daerah ini berada pada koordinat, 129°30'25.05" BT-129°33'37.59" BT dan 3°21'37.05" LS -3°24'50.25" LS (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

Daerah Tehoru dipilih sebagai daerah penelitian dikarenakan di daerah ini terdapat manifestasi panas bumi di permukaan berupa mata air panas, batuan alterasi, tanah beruap, yang merupakan salah satu indikasi daerah yang memiliki potensi panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui karakteristik fluida panas bumi (tipe fluida, asal fluida, kesetimbangan fluida). Selanjutnya, melakukan pendugaan temperatur bawah permukaan (reservoir).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Fisiografi Regional

Secara umum Provinsi Maluku terbagi menjadi 2 (dua) fisiografi yaitu Busur Banda luar dan Busur Banda dalam. Pulau Boano, Pulau Kelang, Pulau Seram dan Pulau Manipa termasuk ke dalam fisiografi Busur Banda luar dan Pulau Ambon dan Pulau Haruku termasuk dalam Busur Banda dalam dan termasuk ke dalam Orogen Maluku. Daerah Tehoru berada pada Selatan Pulau Seram, secara fisiografi Pulau Seram termasuk pada Busur Banda luar yang termasuk ke dalam jalur imbrikasi Neogen (Charles, dkk., 1981).

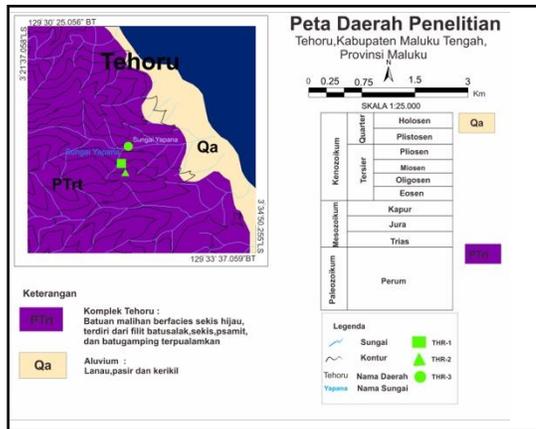
### 2.2 Stratigrafi Regional

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Masohi, Maluku (Tjokrosapoetro 1993, dkk), daerah Tehoru terbagi atas 2 (dua) satuan, yaitu (Gambar 2):

#### 1. Komplek Tehoru (PTrt)

Satuan batuan ini terdiri dari batuan malihan berfasies sekis hijau, terdiri dari filit batusalak,

- sekis, psamit dan batugamping terpualamkan.
2. Aluvium (Qa)  
Satuan batuan ini terdiri dari lanau, pasir dan kerikil.



Gambar 2. Sebagian kecil dari peta geologi regional lembar Masohi (S.Tjokrosapoetro,1993)

### 2.3 Geomorfologi Regional

Berdasarkan hal tersebut diatas, bentang alam (morfologi) di wilayah Pulau Seram sekitarnya, secara umum memperlihatkan bentuk dataran bergelombang. Pengklasifikasian bentuk bentang alam di daerah penelitian dan sekitarnya berdasarkan presentase kemiringan lereng dan beda tinggi relief suatu tempat pada sistem (Desaunettes 1977 ; Todd 1980). Pulau Seram terbagi atas 4 (empat) satuan morfologi, yaitu:

1. Satuan Morfologi Dataran, dengan presentase kemiringan lereng antara 0-2%.

2. Satuan Morfologi Bergelombang Lemah, dengan presentase kemiringan lereng antara 2-8%.
3. Satuan Morfologi Bergelombang Kuat, dengan presentase kemiringan lereng antara 8-16%.
4. Satuan Morfologi Bergelombang Karst, secara umum ketinggian wilayah penelitian 7 – 45 meter diatas permukaan air laut.

### 2.4 Struktur Geologi Regional

Menurut S.Tjokrosapoetro (1993), Kabupaten Maluku Tengah dibentuk oleh adanya struktur geologi sehingga mempengaruhi faktor kemunculan mata air panas di daerah Tehoru berupa:

1. Perlipatan berupa Antiklin dan Sinklin
2. Patahan Anjak (*Thrust Fault*) yang mengontrol bagian inti (tengah) Kabupaten Maluku Tengah melibatkan Kompleks Tehoru, Kompleks Sahu, Formasi Kanikeh, Formasi Taunusa dan Formasi Wahai, juga berarah Timur-Barat dan melengkung cembung ke Utara.
3. Patahan/Sesar Mendatar Tenggara-Barat Laut dan Timur Laut- Barat Daya, melibatkan Kompleks Taunusa, Kompleks Tehoru, Kompleks Sahu dan seluruh formasi lainnya dengan umur Perem-Tersier Akhir.

### 2.5 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi merupakan sistem yang terbentuk akibat perpindahan panas (*heat transfer*) dari sumber panas ke daerah sekelilingnya.

Sistem panas bumi berdasarkan tingginya suhu atau *temperature* di klasifikasikan menjadi 3 (tiga) (Hochstein dan Browne, 2000) yaitu:

1. Sistem panas bumi bertemperatur rendah/*low*, yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida reservoir  $<125^{\circ}\text{C}$ .
2. Sistem panas bumi bertemperatur sedang/*intermediate* yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida reservoir  $125^{\circ}\text{C}$ - $225^{\circ}\text{C}$ .
3. Sistem panas bumi bertemperatur tinggi/*high*, yaitu sistem panas bumi yang memiliki temperatur fluida reservoir  $>225^{\circ}\text{C}$ .

## 2.6 Geokimia Fluida Panas Bumi

Geokimia merupakan metode yang digunakan dalam eksplorasi panas bumi dengan mempelajari karakteristik fluida panas bumi. Penelitian ini didasari oleh karakteristik mata air panas ataupun mata air dingin yang muncul pada permukaan. Karakteristik kimia air atau gas dari lapangan panas bumi ialah informasi terkait kondisi maupun hidrologi yang terdapat pada reservoir.

### 2.6.1 Tipe Fluida

Menurut Nicholson (1993), tipe air panas berdasarkan kandungan anion ( $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ) terbagi sebagai berikut:

#### 1. Air Sulfat (*Sulphate Water*)

Air sulfat atau *steam-heated water* merupakan tipe fluida panas bumi yang diakibatkan adanya kondensasi gas panas bumi pada air permukaan. Mata air panas pada tipe ini berasal dari reservoir dangkal dengan memiliki nilai pH rendah, kandungan sulfat yang tinggi dan kandungan klorida yang rendah. Manifestasi permukaan biasanya ditunjukkan dengan keruh akibat pelarutan batuan samping oleh fluida yang reaktif sehingga tipe air sulfat tidak dapat digunakan untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan.

#### 2. Air Klorida (*Chloride Water*)

Air klorida merupakan tipe fluida panas bumi dalam yang disebut *deep geothermal fluid*. Pada umumnya, tipe air klorida sering ditemukan pada sistem panas bumi dengan temperatur tinggi dengan memiliki rasio yang besar, pH 5 – 9 atau agak asam hingga alkali dan kandungan klorida yang tinggi yang berasal dari reservoir. Manifestasi permukaan memiliki warna jernih dan biasanya berasosiasi dengan endapan sinter silika. Ciri adanya tipe air klorida ini menandakan zona permeabilitas tinggi berupa zona *outflow* yang dipengaruhi oleh topografi.

#### 3. Air Bikarbonat (*Bicarbonate Water*)

Air bikarbonat ialah tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang kurang akan oksigen.

Tipe air bikarbonat ini terdiri dari dua jenis yaitu, air bikarbonat yang memiliki kandungan klorida (Cl) dan air bikarbonat yang memiliki kandungan bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) tinggi. Tipe air bikarbonat memiliki pH mendekati netral karena adanya reaksi dengan batuan yang relatif lateral. Manifestasi permukaan seperti membentuk mata air hangat hingga panas sehingga dapat membentuk *soda spring* dengan suhu dingin serta adanya endapan sinter karbonat.

#### 4. Air Sulfat Klorida (*Chloride Sulphate Water*)

Air sulfat klorida merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat pencampuran air klorida dan air sulfat yang menunjukkan perubahan hidrogen sulfida teroksidasi menjadi ion sulfat dalam air.

#### 5. Air Dilut Klorida Bikarbonat (*Bicarbonate Chloride Dilute Water*)

Air dilut klorida bikarbonat ialah tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat adanya interaksi antara air klorida dengan air bikarbonat atau air tanah selama pergerakan ke permukaan yang relatif lateral. Air dilut klorida penciri zona *upflow* dan struktur *outflow* pada sistem panas bumi temperatur tinggi. Ciri dari tipe fluida panas bumi ini ialah memiliki nilai pH mendekati netral 6 – 8 dan klorida sebagai anion utama dan munculnya bikarbonat dengan konsentrasi yang bervariasi.

## 2.6.2 Asal Fluida Panas Bumi

Untuk mengetahui asal fluida, dapat menggunakan diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988). Metode ini digunakan untuk mengetahui fluida zona *upflow* dan *outflow* dari sebuah sistem panas bumi pada suatu daerah penelitian.

Fluida panas bumi dapat berasal dari air meteorik yang masuk melalui zona permeabelnya, air formasi (*meteoric water*) yang sudah lama berada dalam formasi batuan, air metamorfik (*metamorphic water*) dan magma (*juvenile water*).

## 2.6.3 Kesetimbangan Fluida Panas

Penentuan fluida air panas dapat dilakukan dengan menggunakan diagram segitiga Na-K-Mg. Kondisi air panas ditentukan berdasarkan presentase kandungan ion Na, K dan Mg selanjutnya di plot dalam diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988).

## 2.6.4 Geotermometer

Geotermometer merupakan metode untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan atau reservoir panas bumi berdasarkan keberadaan zat – zat terlarut pada fluida panas bumi, dimana konsentrasi pada fluida tersebut sangat bergantung pada temperatur.

Berikut merupakan jenis – jenis geotermometer yang dipakai sebagai parameter untuk menentukan temperatur reservoir, yaitu:

1. Geotermometer Silika  
Geotermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur (Fournier, 1977).
2. Geotermometer Na-K  
Geotermometer Na-K merupakan respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperatur fluida didasarkan pada reaksi pertukaran kation yang sangat bergantung pada temperatur (Fournier, 1977; Giggenbach, 1988).

### **3.METODOLOGI**

Objek pada penelitian ini adalah mata air panas pada 3 (tiga) titik yang berada di daerah Tehoru (THR-1, THR-2 dan THR 3). Terdapat dua metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Pengamatan Lapangan  
Tahap pengamatan lapangan lapangan dilakukan secara visual di lapangan terhadap kondisi bentang alam, litologi, struktur geologi serta keberadaan serta sifat fisik mata air panas yang menjadi objek penelitian meliputi, koordinat lokasi, elevasi, temperatur udara, temperatur air panas, pH, bau, rasa

air panas dan melakukan pengambilan sampel air panas untuk selanjutnya di analisis laboratorium.

2. Laboratorium-Studio  
Setelah dilakukan analisis data di Laboratorium PSDMBP (Pusat Sumber Daya Mineral dan Panas Bumi) terhadap sampel mata air panas untuk mendapatkan nilai terhadap kandungan unsur-unsur kimia air panas. Selanjutnya dilakukan analisis studio laboratorium yaitu analisis dan olah data hasil laboratorium untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi dan pendugaan temperatur bawah permukaan di daerah penelitian.

### **4.HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Sifat Fisik Fluida Panas Bumi**

Hasil data diperoleh lokasi pengambilan sampel mata air panas pada 3 (tiga) titik di daerah penelitian, yaitu Mata Air Panas Tehoru-1 (THR-1), Mata Air Panas Tehoru-2 (THR-2) dan Mata Air Panas Tehoru-3 (THR-3).

1. Mata Air Panas Tehoru-1 (THR-1)  
Secara geografis berada pada koordinat, 3°23'18"LS dan 129°31'54"BT, dengan ketinggian ± 130 mdpl dengan suhu udara 32 °C, pH air = 7-8 (netral), dengan suhu air 82 °C, kondisi air jernih atau tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau belerang.

Diperkirakan kemunculan manifestasi mata air panas THR-1 berada pada morfologi kelurusan morfologi lembah, pada bongkah batuan metamorf, secara megaskopis berwarna abu kemerahan dengan tingkat pelapukan sedang.

2. Mata Air Panas Tehoru-2 (THR-2) tepatnya pada koordinat 3°23'24''LS dan 129°31'55''BT, memiliki suhu udara 32 °C dengan elevasi ± 130 mdpl, mata air panas bertemperatur 94°C, pH air = 7-8 (mendekati basa), kondisi air jernih atau tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau belerang. Selain mata air panas terdapat manifestasi lain berupa *steaming ground* atau tanah beruap. Diperkirakan kemunculan manifestasi mata air panas THR-2 berada pada morfologi kelurusan lembah, pada bongkah batuan metamorf, secara megaskopis berwarna abu kemerahan dengan tingkat pelapukan sedang.

3. Mata Air Panas Tehoru-3 (THR-3) Mata air panas ini berjarak kurang lebih 200 m dari lokasi THR-1 ke arah utara. Kemunculan mata air panas THR-3 berada pada morfologi kelurusan lembah, pada koordinat 3°23'30''LS dan 129°31'60''BT, memiliki suhu udara 31°C pada elevasi ± 83 mdpl, mata air panas memiliki temperature 83°C, pH air = 7-8 (basa), kondisi air jernih atau tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau belerang. Diperkirakan kemunculan manifestasi mata air panas THR-3, di sekitarnya terdapat bongkahan batuan metamorf, secara megaskopis berwarna abu kecokelatan dengan tingkat pelapukan sedang.

## 4.2 Karakteristik Fluida Panas Bumi

### 4.2.1 Tipe Fluida Panas Bumi

Untuk menentukan tipe fluida reservoir data kimia yang digunakan adalah kandungan relatif dari klorida (Cl), sulfat (SO<sub>4</sub>), dan karbonat (HCO<sub>3</sub>) yang sudah di hitung persentasenya.

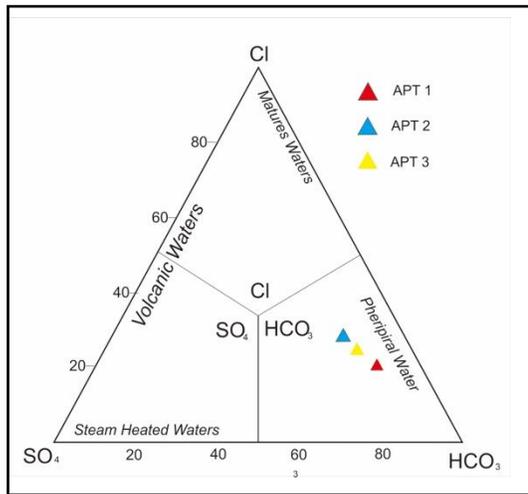
Mata air panas THR-1, THR-2 dan THR-3 memiliki kandungan HCO<sub>3</sub> dominan dibandingkan Cl dan SO<sub>4</sub> (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Presentase Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>

Mata Air Panas	Presentase (%)		
	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
THR-1	22,27	11,83	66,54
THR-2	28,33	14,31	57,34
THR-3	26,87	13,82	59,29

Hasil plotting kimia fluida (mata air panas) THR-1, THR-2 dan THR-3 pada segitiga diagram Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> memperlihatkan ketiga mata air panas termasuk tipe air bikarbonat (*bicarbonate water*) pada zona *peripheral waters* (Gambar 3). Tipe fluida panas ini memperlihatkan adanya proses pemanasan air meteorik oleh sumber panas yang berada di bawahnya atau pencampuran fluida yang berasal dari sumber panas dengan air meteorik yang masuk ke bawah permukaan, fluida panas mengalami kondensasi

uap dan gas ke dalam air permukaan dengan kandungan unsur kima  $\text{HCO}_3$  yang berlimpah dibandingkan  $\text{SO}_4$  dan  $\text{Cl}$ .



Gambar 3. Diagram segitiga  $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$  (Giggenbach, 1988)

#### 4.2.2 Asal Fluida Panas Bumi

Untuk menentukan karakteristik reservoir dan asal air panas, data kimia yang digunakan adalah kandungan relatif dari klorida ( $\text{Cl}$ ), litium ( $\text{Li}$ ), dan boron ( $\text{B}$ ). Untuk melakukan plotting pada diagram segitiga  $\text{Cl}$ ,  $\text{Li}$ , dan  $\text{B}$ , nilai dari unsur  $\text{Cl}$  dan  $\text{B}$  dihitung terlebih dahulu menjadi  $\text{Cl}/100$  dan  $\text{B}/5$ , setelah itu  $2\text{Li}$ , kemudian total nilai dari ke 3 (tiga) unsur ini dibuat dalam bentuk persen (%).

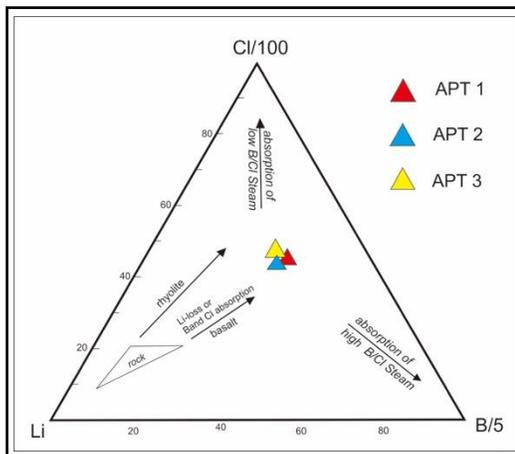
Tabel 2. Nilai Presentase  $\text{Cl-Li-B}$

Mata Air Panas	Presentase (%)		
	Cl	Li	B
THR-1	46,70	20,21	33,07
THR-2	45,09	21,81	33,08
THR-3	47,05	21,20	31,73

Mata air panas THR-1, THR-2 dan THR-3 memiliki kandungan  $\text{Cl}$  yang dominan, tetapi tidak begitu jauh perbedaannya (Tabel 2).

Hasil plotting kandungan unsur  $\text{Cl}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{B}$  pada diagram segitiga rasio  $\text{Cl}$ ,  $\text{B}$  dan  $\text{Li}$  (Giggenbach, 1988) memperlihatkan ketiga mata air panas berada di posisi tengah diagram segitiga  $\text{Cl}$ ,  $\text{Li}$  dan  $\text{B}$  (Gambar 4). Rasio unsur  $\text{Cl}$  dan  $\text{B}$  relatif seimbang. Terdapatnya kandungan  $\text{Li}$  yang rendah, dikarenakan  $\text{Li}$  mudah terserap oleh mineral sekunder seperti klorit, kuarsa dan lempung akibat reaksi dengan batuan sampling yang dilaluinya saat fluida bergerak ke permukaan. Selama perjalanannya mengalami sedikit pengenceran atau penurunan konsentrasi zat terlarut gas dan uap oleh batuan yang dilewati oleh aliran air panas. Semakin jauh jarak migrasi fluida ke permukaan maka konsentrasi  $\text{Li}$  akan semakin berkurang (Nicholson, 1993).

Melihat keberadaan lokasi mata air panas relatif dekat dengan pantai, melimpahnya kandungan unsur kimia Cl di bandingkan Li dan B mengindikasikan ketiga mata air panas (THR-1, THR-2 dan THR-3) berada pada zona *outflow* dan mengindikasikan mata air panas tersebut sebagai air tanah dangkal (*meteoric water*) yang terkontaminasi oleh air laut, mengingat lokasi pengambilan sampel mata air panas yang relatif dekat dengan pantai, sehingga dapat diinterpretasikan bahwa, keberadaan mata air panas di daerah penelitian berasal dari suatu sistem panas bumi non vulkanik.



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988)

#### 4.2.3 Kesetimbangan Fluida Panas Bumi

Untuk mengetahui kesetimbangan fluida data kimia yang digunakan adalah kandungan relatif dari natrium

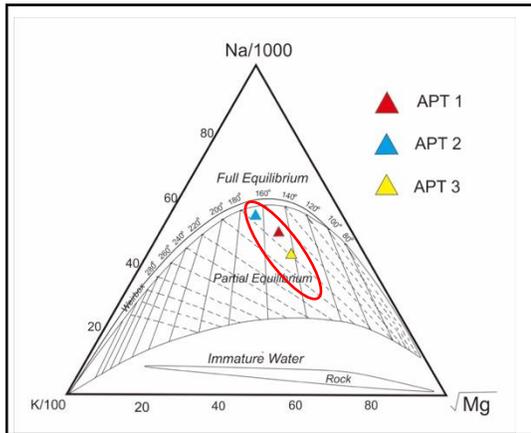
(Na), kalium (K), magnesium (Mg) yang sudah di hitung persentasenya.

Tabel. 3. Tabel Nilai Presentase Na-K-Mg

Mata Air Panas	Presentase (%)		
	Na	K	Mg
THR-1	49,23	19,18	31,57
THR-2	54,47	22,79	22,73
THR-3	42,75	19,32	37,91

Mata air panas THR-1, THR-2 dan THR-3 memiliki kandungan Na dominan dibandingkan K dan Mg (Tabel 3).

Hasil plotting kandungan unsur Na, K, Mg pada diagram segitiga kesetimbangan fluida Na/1000-K/100-√Mg, memperlihatkan ketiga mata air panas THR-1, THR-2 dan THR-3 berada pada kondisi “*partial equilibrium*” memperlihatkan ketiga mata air panas terbentuk pada kisaran suhu (*temperature*) mulai dari 160°C-180°C (Gambar 5). Hal ini menunjukkan telah terjadi interaksi antara fluida panas bumi dan batuan sampling dalam durasi yang lama, sehingga cukup waktu untuk membentuk kesetimbangan. Fluida (air) yang terbentuk pada kondisi ini baik digunakan untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan atau reservoir (Giggenbach, 1988).



Gambar 5. Diagram segitiga Na-K-Mg (Giggenbach, 1988)

#### 4.3 Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan

Data hasil analisis kimia laboratorium dari 3 (tiga) sampel mata air panas (THR-1, THR-2 dan THR-3) di daerah penelitian digunakan untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan (reservoir) menggunakan persamaan geotermometer fluida Na-K (Giggenbach, 1988), (Fournier, 1977), ( $\text{SiO}_2$ ) *silica maximum steam loss* (Fournier, 1977) dan *silica no steam loss* (Fournier, 1977).

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan Na-K (Fournier 1977) diperoleh perkiraan temperatur bawah permukaan sebesar  $154^\circ\text{C}$  (THR-1),  $159^\circ\text{C}$  (THR-2) dan  $164^\circ\text{C}$  (THR-3), sedangkan berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan Na-K

(Giggenbach 1988) diperoleh perkiraan temperatur bawah permukaan sebesar;  $167^\circ\text{C}$  (THR-1),  $172^\circ\text{C}$  (THR-2) dan  $176^\circ\text{C}$  (THR-3).

Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan  $\text{SiO}_2$  (*silica – maximum steam loss*) diperoleh perkiraan temperatur bawah permukaan sebesar;  $132^\circ\text{C}$  (THR-1),  $129^\circ\text{C}$  (THR-2) dan  $130^\circ\text{C}$  (THR-3), dan berdasarkan perhitungan geotermometer fluida menggunakan persamaan  $\text{SiO}_2$  (*silica – no steam loss*) diperoleh perkiraan temperatur bawah permukaan sebesar ;  $136^\circ\text{C}$  (THR-1),  $133^\circ\text{C}$  (THR-2) dan  $134^\circ\text{C}$  (THR-3).

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan kedua geotermometer tersebut, di daerah penelitian diperkirakan memiliki kisaran temperatur bawah permukaan berkisar  $129^\circ\text{C}$ - $175^\circ\text{C}$ , hal ini menunjukkan daerah penelitian termasuk dalam sistem panas bumi bersuhu sedang (*Intermediate geothermal reservoir system*) (Hochstein & Brown, 2000).

Terdapatnya perbedaan hasil perhitungan geotermometer fluida (air) dimungkinkan dikarenakan fluida panas bumi pada saat perjalanannya ke permukaan mengalami kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lain dari batuan dan mengalami pencampuran atau pengenceran dengan fluida

dangkal sehingga membentuk kesetimbangan.

(Gentana,D.,dkk.,2020).

## 5.KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Mata air panas di daerah penelitian secara keseluruhan memiliki tipe air bikarbonat sebagai *pheripiral waters*. Tingginya Kandungan Cl pada ketiga mata air panas diinterpretasikan mata air panas telah terkontaminasi oleh air laut saat bergerak ke permukaan. Ketiga mata air panas muncul ke permukaan pada kondisi *partial equilibrium*, dengan temperatur berkisar dari 160°-180°C. Sedangkan berdasarkan perhitungan geotermometer fluida dapat diperkirakan temperatur bawah permukaan di daerah penelitian berkisar; 129°C-175°C, merupakan sistem panas bumi bersuhu sedang (*intermediate*).

### 5.2 Saran

1. Penelitian geokimia lebih lanjut dengan sampel mata air panas yang lebih banyak, sehingga diharapkan diperoleh data hidrologi yang berkaitan dengan zona *upflow* dan *outflow*.
2. Agar dilakukan kajian keekonomiannya baik untuk pengembangan energi panas bumi secara langsung maupun tidak langsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Charles, M.G., 1981. *Geological history of the region of Wallace's Line*. In: Whitmore, T.C. (Ed.). *Wallace's Line and Plate Tectonics*, Clarendon Press, Oxford, pp. 24–35.
- Direktorat Panas Bumi Kementrian Energi, Ditjen EBTKE dan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Indonesia 2017, Badan Geologi. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 2*. Jakarta : Direktorat Panas Bumi, Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- 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.
- Gentana, D., Haryanto, D.A., Hutabarat,J., 2020. *Geochemical and Isotope Analysis in Geothermal System of Mt. Rendingan and its Surrounding, Lampung Province, Southern Part of Sumatera*. Proceeding 5<sup>th</sup>

- International Conferences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020).
- Giggenbach, W., 1988. *Geochemical techniques in geothermal exploration*, UNITAR UNDP, Guidebook: Application of geochemistry in resources development, pp. 119-144.
- Giggenbach W, F., 1988. *Geothermal Solute Equilibria : Derivation of Na-K-Mg Ge indicators*, *Geochemica Acta*, Vol 52, 2749-2765
- Giggenbach W, F., 1988 *Chemical Techniques in Geothermal Exploration Chemistry Division, DSIR, Private bag*
- Hochstein, M,P, and Browne,P, R, L., 2000 *Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Sources, in Encyclopedia of Volcanoes*.
- Nicholson. K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry & Exploration Techniques*, Berlin : Springer Verlag, Inc,pp 1-18.
- S. Tjokrosapetro, A, Achadan, E.Rusma, K.Suwitodirjo & H.Z.,Bidin., 1993, Regional Lembar Masohi, Maluku Skala 1: 250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Lembar 2612.2613,2712,2713.
- Todd, D.K.1980. *Groundwater Hydrology*. New York : John Willey, Sons Inc