



**GEOKIMIA AIR PANAS DAN PENDUGAAN TEMPERATUR BAWAH  
PERMUKAAN PADA POTENSI PANAS BUMI DAERAH TAWIRI,  
KECAMATAN TELUK AMBON, KOTA AMBON,  
PROVINSI MALUKU**

Chealsya Paais, Agus Didit Haryanto, Johannes Hutabarat, Dewi Gentana

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

Korespondensi : chealsyapaais@gmail.com / chealsya17001@mail.unpad.ac.id

**ABSTRAK**

Desa Tawiri, Kecamatan Teluk Ambon, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Dipilih sebagai daerah penelitian karena memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas di permukaan. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik geokimia air panas dan pendugaan temperatur bawah permukaan. Metode penelitian menggunakan dua metode yaitu pengamatan lapangan dan analisis data berdasarkan hasil analisis laboratorium kimia terhadap 3 (tiga) sampel mata air panas di daerah Tawiri ; TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 dan 2 (dua) sampel mata air dingin ; TWRD-1 dan TWRD-2. Hasil plotting unsur kimia pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> memperlihatkan mata air panas TWR-1 termasuk tipe air bikarbonat dengan kondisi *peripheral waters*. TWR-2 dan TWR-3 termasuk tipe air klorida-bikarbonat pada kondisi *mature waters*, sedangkan kedua mata air dingin memperlihatkan kandungan HCO<sub>3</sub> yang dominan. Hal tersebut mengindikasikan mata air panas di daerah penelitian dipengaruhi oleh air permukaan (*meteoric water*). Diagram Cl-Li-B menunjukkan kandungan Cl yang dominan, disebabkan karena keberadaannya yang relatif dekat dengan pantai sehingga dimungkinkan sebagai air tanah dangkal (*meteoric water*). Diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3, serta mata air dingin TWRD-1 dan TWRD-2 berada pada kondisi *immature waters* yang menunjukkan keseluruhan mata air telah mengalami pencampuran (*mixing*) dengan air permukaan. Hasil perhitungan menggunakan persamaan geotermometer fluida terhadap sampel mata air panas, daerah penelitian diperkirakan memiliki temperatur bawah permukaan berkisar antara 79,53°C - 216,81°C dan termasuk ke dalam sistem panas bumi bersuhu rendah-sedang.

**Kata Kunci** : Tawiri, Karakteristik Fluida Panas Bumi, Temperatur Bawah Permukaan

**ABSTRACT**

*Tawiri Village, Teluk Ambon District, Ambon City, Maluku Province. It was chosen as the research area because it has geothermal manifestations in the form of hot springs on the surface. The purpose of the study was to determine the geochemical characteristics of hot water and estimate the subsurface temperature. The research method uses two methods, namely field observations and data analysis based on the*

results of chemical laboratory analysis of 3 (three) samples of hot springs in the Tawiri area; TWR-1, TWR-2, and TWR-3 and 2 (two) cold springs ; TWRD-1 and TWRD-2. The results of plotting the chemical elements on the Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> triangle diagram show that the TWR-1 hot spring is a bicarbonate type of water with peripheral waters conditions. TWR-2 and TWR-3 are chloride-bicarbonate types in mature waters, while both cold springs show the dominant HCO<sub>3</sub> content. This indicates that the hot springs in the study area are affected by surface water (meteoric water). The Cl-Li-B diagram shows the dominant Cl content, due to its relatively close proximity to the coast so that it is possible as shallow groundwater (meteoric water). The Na-K-Mg triangle diagram shows the hot springs TWR-1, TWR-2, and TWR-3, and the cold springs TWRD-1 and TWRD-2 are in immature water conditions which indicate that all of the springs have been mixed) with surface water. The results of calculations using the fluid geothermometer equation for hot spring samples, the research area is estimated to have a subsurface temperature ranging from 79.53°C - 216.81°C and belongs to the low-medium temperature geothermal system.

**Keywords :** Tawiri, Geothermal Fluid Characteristics, Subsurface Temperature

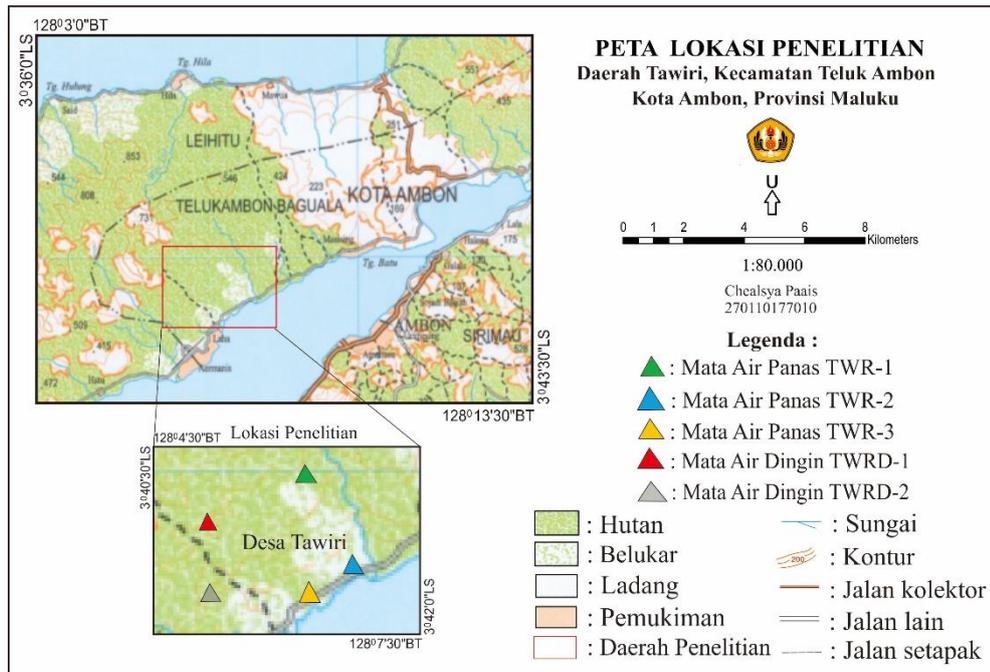
## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen panas bumi terbesar di Dunia dengan total potensi panas bumi sebesar 23,9 GW dari total potensi 417,8 GW dengan kapasitas terpasang sebesar 2,130,7 MW atau setara dengan 8,9% dari total pemanfaatan 10,4 GW atau setara dengan 2,5% yang tersebar mulai dari pulau Sumatra, Jawa, Bali, Sulawesi, Kalimantan, Maluku, Nusa Tenggara hingga Papua (EBTKE, 2020).

Panas bumi yang muncul di permukaan dicirikan dengan adanya manifestasi panas bumi. Manifestasi panas bumi berupa tanah panas, *geyser*, fumarol, uap panas, sinter silika, dan mata air panas, mengidentifikasi adanya sistem panas bumi di bawah permukaan (Saptadji, 2009).

Daerah penelitian panas bumi terletak di Desa Tawiri, Kecamatan Teluk Ambon, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat 128°4'30"BT - 128°7'30"BT dan 3°40'30"LS - 3°42'0"LS (Gambar 1). Pada daerah penelitian ditemukan mata air panas (*hot spring*) yang muncul di permukaan yang berasal dari suatu sumber panas bumi.

Tujuan penelitian untuk mengetahui sifat fisik dan menentukan karakteristik kimia fluida panas bumi berupa tipe, asal, kesetimbangan/kondisi reservoir dan pendugaan temperatur reservoir (bawah permukaan), sehingga dapat mendukung tahap pengembangan panas bumi tersebut.



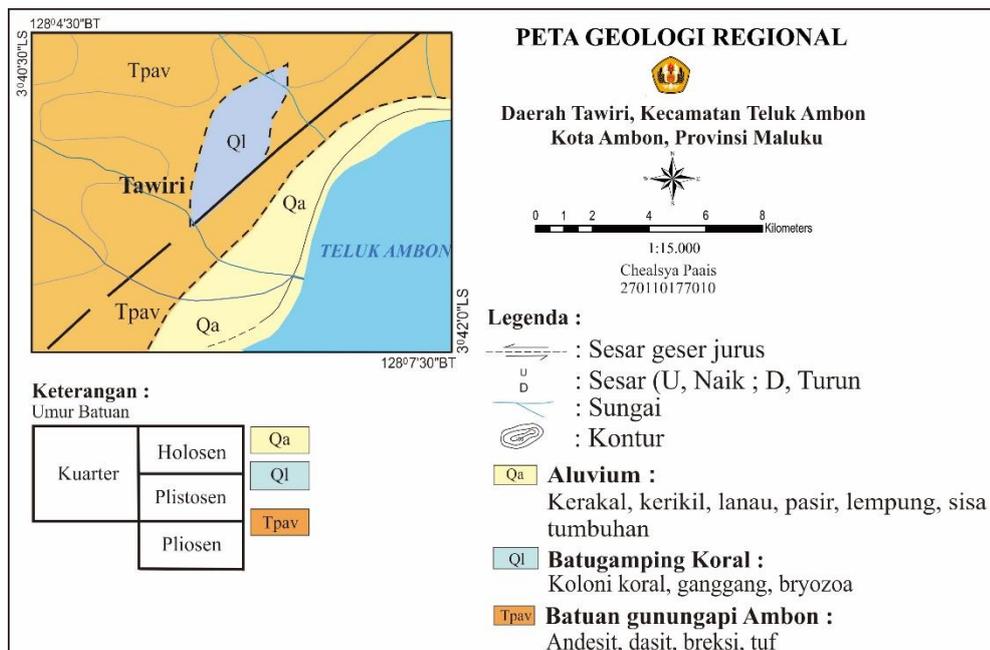
Gambar 1. Lokasi penelitian

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Ambon, Maluku

(Tjokrosapoetro, S., dkk., 1993), membagi daerah penelitian menjadi 3 (tiga) satuan batuan diantaranya (Gambar 2) :



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (S.Tjokrosapoetro., E., dkk., 1993)

1. Aluvium (Qa)  
Satuan batuan ini terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan sisa tumbuhan.
2. Batugamping Koral (Q1)  
Satuan batuan ini terdiri dari koloni koral, ganggang, dan *bryozoa* yang berumur Plistosen Atas-Holosen.
3. Batuan Vulkanik (Tpav)  
Satuan batuan ini terdiri dari Andesit, dasit, breksi, dan tuf, berumur Pliosen.

Pulau Ambon merupakan bagian dari sistem Busur Banda dengan karakteristik perbukitan kasar. Perbukitan kasar memiliki ketinggian berkisar 100 mdpl - 900 mdpl. Morfologi ini terbentuk oleh satuan batuan gunung api muda yaitu lava, breksi gunung api dan batuan terobosan, pada umumnya membentuk perbukitan terjal dengan lembah yang sempit (bentuk V) (Tjokrosapoetro, S., dkk., 1993).

## 2.2 Struktur Geologi Regional

Aktivitas tektonik di Maluku berperan terhadap perkembangan stuktur geologi di daerah penelitian. Pada daerah penelitian terjadi proses pengangkatan dan membentuk perbukitan memanjang yang di sertai dengan munculnya sejumlah sesar seperti sesar turun berarah timur laut-barat daya yang membatasi daerah Teluk Ambon (Tjokrosapoetro, S., 1988).

Sesar yang berada di daerah penelitian yaitu sesar mendatar manganan (sesar mendatar dekstral) merupakan sesar paling tua mengakibatkan pergeseran pada litologi yang telah terbentuk sebelumnya. Selain itu, sesar berarah timur laut-barat daya memiliki pergerakan mengiri (sesar mendatar sinistral) yang mempengaruhi kemunculan mata air panas di daerah Tawiri.

## 2.3 Sistem Panas Bumi

Menurut Goff & Janik (2000) komponen sistem panas bumi terdiri dari tiga komponen utama, yaitu adanya batuan reservoir yang *permeable*, adanya air yang membawa panas, dan sumber panas itu sendiri. Komponen-komponen tersebut saling berkaitan dan membentuk sistem yang mampu mengantarkan energi panas dari bawah permukaan hingga ke permukaan bumi.

### 1) Sumber Panas

Pembentukan sumber panas bumi memerlukan panas yang akan membentuk perputaran (*cycle*) fluida hidrotermal dalam bentuk perbandingan uap dan air panas, dimana masa panas dapat berupa; masa panas padat, masa panas cair, masa panas mineral radioaktif, reaksi kimia.

### 2) Fluida Panas Bumi

Fluida panas bumi merupakan fasa yang terdiri dari campuran uap dan air, yang menjadi panas akibat adanya proses konveksi dari zona reservoir kepada fluida dan batuan sekitar yang dilalui oleh fluida.

### 3) Batuan Reservoir

Batuan reservoir, sebagai tempat terakumulasinya fluida panas bumi (uap air panas). Zona ini tersusun oleh batuan yang bersifat permeabel.

## 2.4 Geokimia Air Panas Bumi

### 2.4.1 Tipe Air Panas

Nicholson (1993) membagi tipe air panas berdasarkan kandungan anion dominan yaitu anion Cl, SO<sub>4</sub> dan HCO<sub>3</sub>.

#### 1. Air Klorida

Air klorida merupakan tipe fluida panas bumi dalam (*deep geothermal fluid*), umumnya ditemukan pada

sistem panas bumi temperatur tinggi. Mata air panas dengan tipe air klorida memiliki temperatur tinggi, debit yang besar, rasio Cl/SO<sub>4</sub> tinggi, pH 5-9 dan kandungan klorida yang tinggi yang berasal langsung dari reservoir.

## 2. Air Sulfat

Air sulfat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panas bumi pada air permukaan. Tipe air panas ini juga disebut sebagai *steam-heated water*. Mata air panas bertipe sulfat biasanya berasal dari reservoir dangkal, memiliki pH rendah, kandungan klorida rendah, dan sulfat tinggi. Manifestasi permukaan biasanya berwarna keruh akibat pelarutan batuan sampling.

## 3. Air Bikarbonat

Air bikarbonat merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi uap dan gas ke dalam air permukaan yang minim oksigen. Tipe air panas ini terdiri atas dua jenis yaitu jenis pertama yang mempunyai kandungan Klorida (Cl) rendah dan Bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) tinggi. Hal ini dapat terjadi karena uap yang kaya akan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) terkondensasi relatif dekat ke permukaan dan menyebabkan kandungan HCO<sub>3</sub> meningkat. Jenis yang kedua mengandung Cl yang relatif lebih banyak dari jenis pertama dan kandungan HCO<sub>3</sub> tinggi. Kondisi ini terjadi karena klorida yang bergerak relatif horizontal (sebagai *outflow*) selama perjalanannya mengalami perubahan HCO<sub>3</sub> akibat reaksi dengan batuan sampling atau hasil pelarutan dari CO<sub>2</sub> dengan air tanah dangkal.

## 2.4.2 Asal Fluida

Fluida panas bumi dapat berasal dari air meteorik yang masuk melalui zona permeabelnya, air formasi (*connate water*) yang sudah lama berada dalam formasi batuan, air metamorfik (*metamorphic water*) dan magma (*juvenile water*). Untuk mengetahui asal fluida panas bumi digunakan plotting diagram Cl-Li-B (Giggenbach, 1998). Diagram ini juga digunakan untuk menentukan zona *upflow* dan *outflow* dari suatu sistem panas bumi.

## 2.4.3 Kesetimbangan Fluida Manifestasi

Kematangan manifestasi panas bumi dapat ditentukan dari kandungan relatif unsur Na, K, dan Mg dengan melakukan plotting pada diagram segitiga Na-K-Mg Giggenbach, (1988). Terdapat tiga jenis fluida di dalam diagram segitiga Na-K-Mg, yaitu *Immature Waters*, *Partial Equilibrium*, dan *Full Equilibrium*. Jenis fluida *Immature Waters* menandakan bahwa fluida telah bercampur dengan fluida lain dari permukaan (air meteorik). Untuk jenis fluida *Partial Equilibrium* menandakan bahwa terjadinya kesetimbangan sebagian antara batuan penyusun reservoir dengan fluida. Fluida *Full Equilibrium* menandakan bahwa fluida bersumber langsung dari reservoir panas bumi.

## 2.4.4 Geoindikator

Geoindikator digunakan untuk menentukan zona *upflow* dan *outflow* pada sistem panas bumi. Zat - zat terlarut dibagi dalam dua kategori yaitu geoindikator dan *tracer* (Giggenbach, 1991). *Tracer* secara geokimia bersifat *inert* yang artinya

akan sulit bereaksi dengan senyawa lain dan apabila berada dalam fluida panas bumi akan bersifat tetap dan dapat di lacak asal usulnya. Geoindikator adalah zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium atau kesetimbangan.

#### 2.4.5 Geotermometer Air

Geotermometer digunakan untuk memperkirakan temperatur reservoir panas bumi berdasarkan keberadaan zat - zat terlarut pada fluida panas bumi, dimana konsentrasi dari fluida tersebut sangat bergantung pada temperatur.

Geotermometer digunakan sebagai parameter untuk menentukan suhu atau temperatur reservoir, sebagai berikut:

1. Geotermometer Silika  
Geotermometer silika (Fournier, 1977) digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur.
2. Geotermometer Na-K  
Geotermometer Na-K (Fournier, 1979) merupakan respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperatur fluida berdasarkan pada reaksi pertukaran kation yang tergantung pada suhu. Geotermometer Na-K dapat diterapkan untuk reservoir air klorida dengan nilai  $T > 180^{\circ}\text{C}$ . Geotermometer ini memiliki keunggulan yang tidak hanya terpengaruhi oleh *steam loss*. Namun, geotermometer ini kurang bagus apabila diaplikasikan untuk  $T < 100^{\circ}\text{C}$  (Simmons, 1988).

3. Geotermometer Na-K-Ca  
Geotermometer Na-K-Ca (Fournier & Truesdell, 1973) diterapkan untuk air yang memiliki konsentrasi Ca tinggi. Asumsi yang dapat digunakan untuk membuat persamaan geotermometer Na-K-Ca adalah sebagai berikut:
  - a. Mempunyai kelebihan silika (biasanya benar).
  - b. Aluminium tetap berada pada fasa padat (biasanya benar karena fluida biasanya sedikit Aluminium).

### 3. Metode dan Tahap Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode, yaitu:

1. Geoindikator digunakan untuk menentukan tipe fluida, asal, dan kelarutan/kesetimbangan fluida (mata air panas).
2. Geotermometer digunakan untuk menentukan (menghitung) perkiraan temperatur pada reservoir.

Hasil analisis dari geoindikator dan geotermometer selain untuk mengetahui karakteristik fluida (mata air panas) dapat juga untuk mengetahui sistem panas bumi daerah penelitian atau zona *upflow* dan zona *outflow* (Ellis, A. J., and Mahon, W.A.J., 1977).

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakteristik Tipe Air Panas

Dalam menentukan tipe fluida pada reservoir digunakan data kimia kandungan relatif dari klorida ( $\text{Cl}$ ), sulfat ( $\text{SO}_4$ ) dan bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) yang diolah terlebih dahulu dengan menghitung presentase dari masing-masing unsur  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$  dan  $\text{HCO}_3$  (Tabel 1).

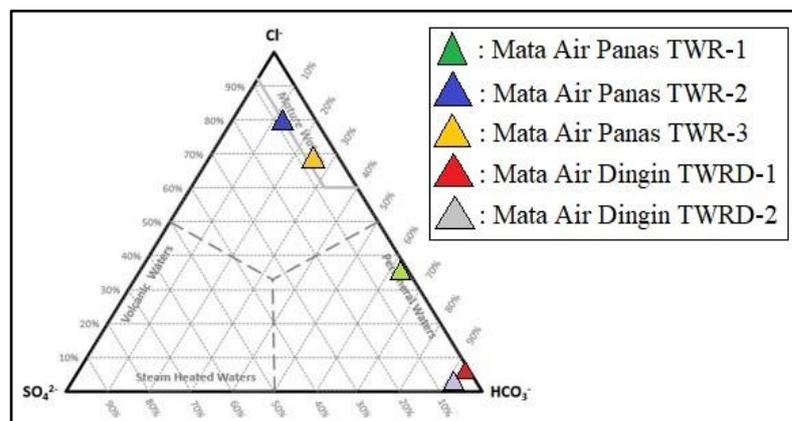
Tabel 1. Nilai konsentrasi dan presentase unsur/senyawa Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>

Mata Air Panas/ Mata Air Dingin	Konsentrasi (mg/L)			Presentase (%)		
	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>
Mata Air Panas TWR-1	639,00	0,50	1068,13	37,42	0,02	62,55
Mata Air Panas TWR-2	5254,00	627,06	863,88	77,89	9,29	12,80
Mata Air Panas TWR-3	2840,00	255,44	1054,08	68,44	6,15	25,40
Mata Air Dingin TWRD-1	6,93	0,77	156,47	4,22	0,46	95,30
Mata Air Dingin TWRD-2	2,78	3,17	96,04	2,72	3,10	94,16

Hasil plotting pada diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (Gambar 3), memperlihatkan mata air panas TWR-1 memiliki kandungan Bikarbonat (HCO<sub>3</sub>) yang dominan dibandingkan Klorida (Cl) dan Sulfat (SO<sub>4</sub>), sehingga termasuk tipe air bikarbonat dengan kondisi *peripheral waters*. Mata air panas TWR-2 dan TWR-3 memperlihatkan kandungan Cl yang dominan dengan sedikit kandungan HCO<sub>3</sub> dan sedikit sekali SO<sub>4</sub> sehingga termasuk tipe air klorida-bikarbonat dengan kondisi *mature waters*. Mata air dingin TWRD-1 dan TWRD-2 memperlihatkan kandungan HCO<sub>3</sub> yang dominan dengan sedikit Cl dan SO<sub>4</sub> kondisi *peripheral waters* yang

disebabkan karena kedua mata air dingin merupakan air permukaan.

Tipe air bikarbonat pada mata air panas TWR-1 disebabkan karena uap yang kaya akan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) terkondensasi relatif dekat ke permukaan. Kondensasi uap sedikitnya dapat memanaskan air tanah sehingga membentuk larutan HCO<sub>3</sub>. Tipe air klorida-bikarbonat pada mata air panas TWR-2 dan TWR-3 mengindikasikan zona *outflow* yang keberadaannya dipengaruhi oleh air permukaan. Menurut Powell, (2010), mata air panas dengan unsur klorida yang tinggi, memiliki sedikit unsur bikarbonat dan unsur sulfat mengindikasikan daerah *outflow* pada reservoir panas bumi.



Gambar 3. Hasil plotting diagram Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> pada mata air panas dan mata air dingin daerah penelitian

#### 4.2 Karakteristik Reservoir Dan Asal Air Panas

Hasil plotting kandungan relatif Cl, Li, dan B yang diperoleh dari data hasil analisis laboratorium, diolah terlebih dahulu menjadi nilai presentase (%) dari masing-masing

unsur tersebut (Tabel 2). Dari hasil perhitungan tersebut, dilakukan plotting pada sampel mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3, serta mata air dingin TWRD-1 dan TWRD-2 ke dalam diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988).

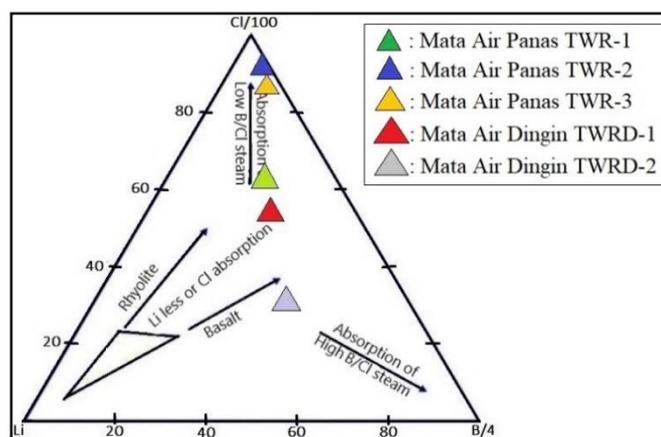
Tabel 2. Nilai konsentrasi dan presentase unsur/senyawa Cl-Li-B

Mata Air Panas/ Mata Air Dingin	Konsentrasi (Mg/L)			Presentase (%)		
	Cl	Li	B	Cl	Li	B
Mata Air Panas TWR-1	639,00	0,71	10,95	60,58	13,46	25,95
Mata Air Panas TWR-2	5254,00	0,38	12,12	93,27	1,34	5,37
Mata Air Panas TWR-3	2840,00	0,38	9,93	89,75	2,40	7,84
Mata Air Dingin TWRD-1	6,93	0,01	0,14	55,75	16,09	28,15
Mata Air Dingin TWRD-2	2,78	0,01	0,14	33,57	24,15	42,27

Berdasarkan hasil plotting diagram Cl-Li-B memperlihatkan mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 memiliki kandungan Cl yang dominan dibandingkan kandungan Li dan B dan berada pada kondisi *absorption of low B/Cl steam* (Gambar 4). Tingginya kandungan Cl pada mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 disebabkan karena keberadaan lokasi mata air panas yang relatif dekat dengan pantai

sehingga dimungkinkan sebagai air tanah dangkal (*meteoric water*) yang terkontaminasi oleh air laut.

Mata air dingin TWRD-1 memiliki kandungan Cl yang relatif tinggi yang disebabkan keberadaannya yang dekat dengan pantai. Tingginya kandungan B pada mata air dingin TWRD-2 menandakan adanya proses pengenceran (*leaching*) dengan batuan sampling di permukaan.



Gambar 4. Hasil plotting diagram Cl-Li-B pada mata air panas dan mata air dingin daerah penelitian

### 4.3 Kestimbangan Fluida – Air Panas Bumi

Hasil analisis laboratorium kimia air dilakukan perhitungan nilai Na, K, dan Mg kemudian diolah untuk menghasilkan nilai presentase (%). Dari ketiga unsur tersebut

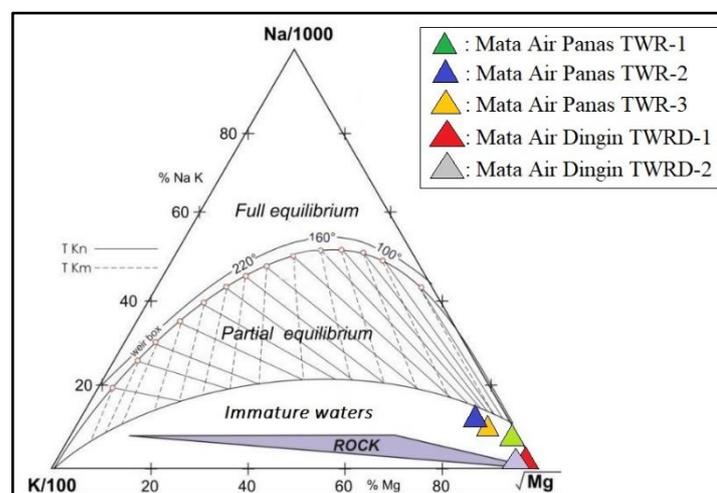
menunjukkan sampel mata air panas TWR-1, TWR-2, TWR-3, serta mata air dingin TWRD-1 dan TWRD-2 memiliki kandungan Mg yang dominan dibanding kandungan Na dan K (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai konsentrasi dan presentasi unsur/senyawa Na, K dan Mg

Mata Air Panas/ Mata Air Dingin	Konsentrasi (Mg/L)			Presentase (%)		
	Na	K	Mg	Na	K	Mg
Mata Air Panas TWR-1	417,47	18,82	88,29	4,17	1,88	93,94
Mata Air Panas TWR-2	3034,70	136,46	400,47	12,43	5,59	81,97
Mata Air Panas TWR-3	1655,90	96,11	203,27	9,81	5,69	84,49
Mata Air Dingin TWRD-1	20,37	2,64	7,04	0,75	0,97	98,26
Mata Air Dingin TWRD-2	10,87	2,23	5,08	0,47	0,97	98,54

Hasil plotting kestimbangan fluida pada diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan bahwa mata air panas TWR-1, TWR-2, TWR-3 serta mata air dingin TWRD-1 dan TWRD-2 berada pada kondisi *immature waters* dan memiliki kadar Mg yang tinggi (Gambar 5). *Immature waters* menandakan bahwa air panas di daerah penelitian tidak mencapai

kestimbangan atau telah mengalami reaksi dengan unsur lain saat menuju ke permukaan. 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 lebih tinggi.



Gambar 5. Hasil plotting diagram Na-K-Mg pada mata air panas dan mata air dingin daerah penelitian

#### 4.4 Pendugaan Temperatur Bawah Permukaan

Persamaan geotermometer yang digunakan untuk menghitung pendugaan temperatur bawah permukaan (reservoar), yaitu dengan menggunakan persamaan geotermometer *silica* (SiO<sub>2</sub>) pada kondisi *no steam loss* (Fournier, 1977), persamaan geotermometer Na-K (Fournier, 1979) dan persamaan

geotermometer Na-K-Ca dengan  $\beta = 4/3$  dengan persyaratan suhu <100°C (Fournier dan Truesdell, 1973).

Hasil perhitungan pendugaan temperatur bawah permukaan (reservoar) dari sampel mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 daerah penelitian memiliki temperatur bawah permukaan yang berbeda-beda (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil perhitungan geotermometer silika (SiO<sub>2</sub>), Na-K dan Na-K-Ca

Mata Air Panas	SiO <sub>2</sub> (°C)	Na-K (°C)	Na-K-Ca (°C)
	<i>No Steam Loss</i> (Fournier, 1977)	Fournier, (1979)	Fournier dan Truesdell (1977)
TWR-1	153,19	163,98	79,53
TWR-2	143,90	163,81	216,81
TWR-3	148,00	181,92	203,61

Terdapatnya perbedaan hasil perhitungan geotermometer fluida (air) dimungkinkan karena fluida panas bumi pada saat perjalanannya menuju permukaan terjadi kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lain dari batuan serta mengalami pencampuran atau pengenceran dengan fluida dangkal membentuk kesetimbangan baru (Gentana, D., dkk., 2020).

Hasil perhitungan geotermometer fluida panas bumi, TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 diperkirakan memiliki temperatur bawah permukaan berkisar antara 79,53°C - 216,81°C dan termasuk ke dalam sistem panas bumi bersuhu rendah-sedang (Hochstein & Browne, 2000).

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil plotting data laboratorium kimia mata air panas diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, tipe fluida mata air panas TWR-1 adalah bikarbonat yang terbentuk pada kondisi "*peripheral waters*" dan mata air panas TWR-2, TWR-3 adalah klorida-bikarbonat pada kondisi "*mature waters*" yang mengindikasikan zona *outflow* yang keberadaannya dipengaruhi oleh air permukaan. Hasil plotting segitiga Cl-Li-B menunjukkan mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3 merupakan air tanah dangkal yang mengalami kontaminasi oleh air laut dan mengalami pengenceran dari batuan samping di permukaan. Diagram segitiga Na-K-Mg memperlihatkan mata air panas TWR-1, TWR-2, dan TWR-3, berada

pada kondisi “*immature waters*”, mengindikasikan ketiga mata air panas telah mengalami pencampuran (*mixing*) dengan air tanah (*meteoric waters*) yang kaya akan Mg.

Perkiraan temperatur reservoir fluida panas bumi, daerah penelitian diperkirakan memiliki temperatur bawah permukaan berkisar antara 79,53°C - 216,81°C dan termasuk ke dalam sistem panas bumi bersuhu rendah-sedang.

## 5.2 Saran

Pendugaan temperatur reservoir di daerah Tawiri berasal dari sistem panas bumi bersuhu rendah - sedang, sehingga perlu dilakukan kajian dari sisi keekonomian bila akan dikembangkan sebagai pembangkit listrik maupun pariwisata.

## DAFTAR PUSTAKA

- EBTKE-ESDM, 2020. Paparan Webinar *Sharing Knowledge*, Geothermal Goes to Campus, FTG, Universitas Padjadjaran.
- Ellis, A.J., and Mahon, W. A. J., 1977. *Chemical Geothermometry in Geothermal Systems*. Geothermics, 219-226 pp.
- Fournier, R.O. dan Rowe, J.J., 1977, *Estimation of Underground Temperatures from the Silica Content of Water From Hot Springs and Wet-Steam Wells*, *American Journal of Science*, Vol. 264.
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H., 1973. *An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Water*. *Geochimica Cosmochimica Acta*, vol.37, Pp.1255-1275.
- Fournier, R.O., 1979. *A Revised Equation For Na/K Geothermometer*. *Trans Geotherm Resour Counc* 3:221–224.
- Gentana, D., Haryanto, D.A., Hutabarat, J., 2020. *Geochemical and Isotope Analyses in Geothermal System of Mt. Rendingan and Its Surrounding, Lampung Province, Southern Part of Sumatra*. Proceeding 5th International Confrences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020).
- Giggenbach, W.F., 1988. *Geothermal Solute Equilibria*. *Geochimical et Cosmochimica Acta*, Vol. 52 No.12, pp. 2749- 2765.
- Giggenbach, W., 1991, *Geochemical Techniques In Geothermal Exploration*, UNITAR UNDP, Guidebook: Application of geochemnistry in resources development, hh. 119-144
- Goff, F., dan Janik, C.J., 2000. *Geothermal systems, in Sigurdsson, H., ed., Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press: San Diego
- Hochstein, M.P., and Browne, P.R.L., 2000. *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*, In *Encyclopedia of Volcanoes*.

- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag Inc: Berlin.
- Powell, T and Cumming, W., 2010 *Spreadsheets for Water and Gas Geothermal Geochemistry* (California: Stanford University, Stanford).
- Saptadji, M, N., Teknik Panas Bumi. (Penerbit ITB, Bandung, 2009).
- Simmons, S.F., 1998. *Geochemistry Lecture Notes*. Geothermal Institute. University of Auckland.
- Tjokrosoepetro, S., 1988. Geologi Masohi, Seram. Puslitbang Geologi, Bandung.
- Tjokrosoepetro, S., Rusmana, E., dan Achdan, A., 1993. Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.