

## ANALISIS HIDROKIMIA DALAM PENENTUAN TIPE DAN GOLONGAN FLUIDA GEOTERMAL SULILI KABUPATEN PINRANG SULAWESI-SELATAN

Emi Prasetyawati Umar<sup>1\*</sup>, Muhamad Hardin Wakila<sup>1</sup>, Jamal Rauf Husain<sup>2</sup>, Jamaluddin<sup>3,5</sup>, Syamsuddin<sup>4</sup>, Rizky Nurul Aulia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

<sup>4</sup>Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

<sup>5</sup>Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Geography and Astronomy, University of Vienna, Austria

\*e-mail : emiprasetyawati.umar@umi.ac.id

**Abstrak.** Survei lapangan pada Daerah Sulili menunjukkan karakteristik geotermal berupa manifestasi yaitu mata air panas. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tipe fluida geotermal daerah penelitian berdasarkan metode geotermometer Na-K-Mg kemudian diklasifikasi berdasarkan diagram trilinear dan ternary. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe mata air panas dari ketiga titik mata air panas daerah penelitian termasuk dalam tipe klorida dengan persentase antara 96,209%-96,651% yang diplot pada diagram trilinear. Berdasarkan *plotting* diagram ternary, fluida geotermal daerah penelitian termasuk ke dalam golongan *immature water*. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tipe mata air panas daerah penelitian adalah klorida dengan salah satu mata air panas termasuk dalam golongan *immature water* yaitu stasiun mata air panas EPU-1 sedangkan dua stasiun mata air panas yaitu Stasiun EPU-2 dan EPU-3 tidak dapat diplot karena tingginya kadar Mg pada stasiun tersebut.

**Kata Kunci:** diagram ternary; karakteristik fluida; mata air panas; energi panas bumi.

**Abstract.** Field surveys in the Sulili Region show geothermal characteristics in the form of manifestations, namely hot water springs. This study aims to determine the type of geothermal fluid in the study area based on the Na-K-Mg geothermometer method and then classify it based on trilinear and ternary diagrams. The results showed that the types of hot springs from the three hot springs in the study area were included in the chloride type with a percentage between 96.209% -96.651% which was plotted on the trilinear diagram. Based on the ternary diagram plotting, the geothermal fluid in the study area belongs to the immature water group. Based on the results of the study it can be concluded that the type of hot water springs in the study area is chloride with one of the hot springs included in the immature water group, namely EPU-1 hot water spring station, while two hot water spring stations, such as EPU-2 and EPU-3 stations cannot be plotted due to the high levels of Mg at that station.

**Keywords:** ternary diagrams; fluid characteristics; hot water springs, geothermal energy.

### PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi sumber daya alam, di antaranya berupa air panas atau uap yang terbentuk dalam reservoir di dalam bumi melalui pemanasan air di bawah permukaan oleh batuan beku panas. Air permukaan yang berasal dari sungai, hujan, danau, laut dan lain-lain meresap menjadi air tanah, mengalir dan bersentuhan dengan tubuh magma (Saptadji, 2018).

Batuan beku panas tersebut mendidih, kemudian membentuk air dan uap panas. Energi panas bumi biasanya dimanfaatkan secara langsung

untuk pengeringan produksi hasil pertanian, kebutuhan rumah tangga ataupun secara tidak langsung sebagai penggerak turbin pembangkit listrik dan peruntukan tempat pariwisata (Umar dkk., 2020).

Mata air panas yang muncul ke permukaan mengindikasikan keberadaan dari suatu sistem panas bumi yang terbentuk di bawah permukaan (*subsurface*) bumi yang diakibatkan oleh adanya aktivitas geologi, seperti vulkanisme dan atau tektonisme yang kemudian mengakibatkan air di bawah permukaan mengalami pemanasan,

kemudian muncul di permukaan sebagai mata air panas (Goff dan Janik, 2000).

Sistem geotermal merupakan suatu daur hidrologi air (air tanah dan hujan) yang mengalami proses melalui pemanasan fluida pada sumber panas (*heat source*) bertemperatur tinggi di bawah permukaan bumi sehingga terbentuk air panas yang terperangkap dan terselubung di dalam batuan penudung (*cap rock*) dengan permeabilitas batuan yang tinggi (Tun dkk., 2015). Uap air dan air panas tersebut muncul di permukaan melalui struktur-struktur seperti sesar atau rekahan pada batuan (Umar dan Jamaluddin, 2018; Tutu dkk., 2015).

Pemunculan mata air panas di Daerah Sulili dipengaruhi oleh adanya struktur geologi berupa kekar dengan tipe kekar sistematik (Umar dkk., 2020). Keberadaan struktur geologi tersebut merupakan tempat keluarnya mata air panas di permukaan bumi (*surface*). Berdasarkan hasil analisis terhadap data lapangan dengan kondisi tektonik regional, lokasi penelitian menunjukkan adanya pengaruh geologi berupa keberadaan sesar yang bekerja pada Daerah Sulili Kelurahan Maminasae Kecamatan Paleteang Kabupaten Pinrang Provinsi Sulawesi Selatan yaitu sesar geser, sehingga menyebabkan adanya mata air panas di wilayah tersebut (Umar dkk., 2020).

Berdasarkan survei lapangan, Daerah Sulili menunjukkan karakteristik panas bumi berupa manifestasi yaitu Mata air panas. Keberadaan manifestasi geotermal di daerah penelitian yang telah diteliti sebelumnya mengenai eksplorasi geologi yaitu pengaruh struktur geologi terhadap kemunculan mata air Daerah Sulili dan analisis fluida secara fisik dalam pemanfaatan mata air panas (Umar dkk., 2020), sehingga diperlukan suatu penelitian lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan secara relevan dan berkesinambungan dengan menganalisis fluida mata air panas secara hidrokimia guna pemanfaatan lebih lanjut terkait potensi energi panas bumi di daerah tersebut.

Penelitian mata air panas sebelumnya belum tuntas menyelesaikan permasalahan pokok penelitian ini, di antaranya bagaimana tipe dan fluida mata air panas sehingga dari hasil analisis

hidrokimia ini dapat diketahui karakteristik dari sumber energi panas bumi tersebut.

## METODOLOGI

Lokasi penelitian terletak di Lingkungan Sulili Kelurahan Maminasae Kecamatan Paleteang Kabupaten Pinrang Provinsi Sulawesi Selatan. Sampel mata air panas yang diambil dari lokasi penelitian kemudian dianalisis pada Laboratorium Oseanografi Kimia Jurusan Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin Makassar. Adapun prosedur penentuan beberapa kandungan kimia dari mata air panas tersebut sebagai berikut:

1. Prosedur Penentuan Kesadahan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{Cl}$

Penentuan kesadahan unsur  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}$  dan  $\text{HCO}_3^-$  menggunakan metode titrimetri. Analisis titrimetri atau analisis volumetrik adalah analisis kuantitatif dengan mereaksikan suatu zat yang dianalisis dengan larutan baku (standar) yang telah diketahui konsentrasinya secara teliti dan reaksi antara zat yang dianalisis dan larutan standar tersebut berlangsung secara kuantitatif.

a. Prosedur Penentuan Kesadahan  $\text{Ca}^{2+}$

Dalam menentukan kesadahan  $\text{Ca}^{2+}$  prosedur yang dilakukan untuk analisisnya yaitu (Isyanita, 2016):

a) Pipet 100ml sampel, dimasukkan ke dalam erlenmeyer;

b) Menambahkan 4,0 ml  $\text{NaOH}$  1 N, lalu aduk;

c) Menambahkan 0,1–0,2 gram ( $\pm$  seujung pengaduk) indikator *murexide*, mengaduk sambil dilakukan titrasi menggunakan  $\text{Na-EDTA}$  dengan berhati-hati sampai terjadi perubahan warna dari merah (pink) ke ungu (*orchid purple*). Akhir titrasi ditandai dengan penambahan satu tetes titran yang tidak lagi mengubah intensitas warna ungu-biru.

b. Analisis laboratorium unsur  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{HCO}_3^-$  dilakukan sama dengan prosedur Kesadahan  $\text{Ca}^{2+}$ .

2. Penentuan Sulfat ( $\text{SO}_4$ ), K, Na,  $\text{NH}_3$

Penentuan kandungan sulfat dalam sampel, prosedur yang dilakukan untuk analisisnya sebagai berikut (Isyanita, 2016):

a. Pipet 50mL air sampel, dimasukkan ke dalam erlenmeyer.

- b. Menambahkan tepat 2,5ml *conditioning reagent* (campuran 75 gr NaCl, 30 mL HCL pekat, 100 mL ethanol 95%, 50 mL *glycerol* dan *aquadest*), mengaduk secara terus menerus dengan pengaduk gelas atau *magnetic stirrer*.
- c. Menambahkan Kristal BaCl<sub>2</sub> sebanyak 1 sendok kecil (berkapasitas 0,2-0,3ml), jalankan stopwatch dan biarkan teraduk terus menerus hingga tepat 1 menit.
- d. Melakukan dengan segera pengukuran pada alat, setiap 30 detik selama 4 menit. Bila terdapat sejumlah sampel yang harus diperiksa, cek kalibrasi dengan salah satu larutan standar pada setiap tiga atau empat sampel yang diukur.
- e. Membuat larutan blanko dari *aquades* sebanyak 50 ml. Kemudian mencatat nilai pembacaan yang konstan sebagai faktor koreksi.
- f. Menyiapkan larutan standar kalibrasi yang berisi 5; 10; 15; 20; 30; 40; dan 50 mg/L sulfat dengan pengenceran yang cermat dari larutan standar 100 mg/L. Kemudian mencatat nilai pengukuran yang konstan, dan menggunakan nilai-nilai tersebut dalam kurva kalibrasi atau persamaan regresi yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan kadar sulfat dalam sampel.

Unsur-unsur kimia yang didapatkan bertujuan untuk menentukan asal fluida mata air panas dan tipe serta golongan fluida panas bumi dengan menggunakan geotermometer, sebagai berikut:

a. Tipe Fluida

Fluida panas bumi dibedakan berdasarkan anion utama yaitu klorida (Cl), sulfat (SO<sub>4</sub>) dan bikarbonat (HCO<sub>3</sub>). Penentuan tipe mata air panas untuk memilih mata air panas yang representatif untuk menentukan suhu reservoir dengan metode geotermometer. Untuk penentuan tipe mata air panas berdasarkan klasifikasi dari diagram Trilinier (Ansori dan Wardani, 2015).

Hasil analisis hidrokimia, kemudian menjadi parameter di dalam penentuan tipe mata air panas berdasarkan klasifikasi dari diagram trilinier menggunakan metode geotermometer Na-K dan Na-K-Mg (Giggenbach, 1988; Arnorsson dkk., 2006).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hidrokimia Mata air Panas Daerah Penelitian**

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengambilan sampel di daerah penelitian berupa data fisik meliputi nilai pH, warna dan temperatur dari masing-masing mata air panas tersebut. Pada stasiun mata air panas EPU-1, EPU-2, dan EPU-3 memiliki ciri fisik berupa pH 7, warna jernih dan temperatur yang berbeda-beda pada setiap stasiun. Stasiun mata air panas EPU-1 mempunyai temperatur 45°C, EPU-2 57°C dan EPU-3 49°C. Pengambilan sampel air panas menggunakan alat *kemmer water sampler* setelah itu sampel air tersebut dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimianya.

Berdasarkan data hasil analisis hidrokimia mata air panas yang dianalisis melalui Laboratorium Oseanografi Kimia Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin maka dapat diketahui unsur-unsur kimia yang terkandung pada air panas tersebut dan dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Unsur Kimia Mata air Panas Daerah Penelitian (Sumber: Data Lapangan dan Laboratorium)

No	Parameter Analisis	Satuan	Hasil Analisis		
			EPU-1	EPU-2	EPU-3
1	pH	-	7,83	7,99	7,9
2	Suhu	°C	45	57	49
3	Kalsium (Ca)	mg/L	120,12	200,2	1033,0 32
4	Magnesium (Mg)	mg/L	20,897	Tidak terukur	Tidak terukur
5	Klorida (Cl)	mg/L	1772,55	1725,75	1526,8 5
6	Natrium (Na)	mg/L	178,924	120,184	74,056
7	Kalium (K)	mg/L	48,351	92,646	51,739
8	Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,010	0,125	0,015
9	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	39	29	39
10	Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> )	mg/L	56	80	52

### Tipe Fluida Mata Air Panas Daerah Penelitian

Analisis hidrokimia sangat membantu dalam mendapatkan informasi mengenai kondisi reservoir dalam penentuan karakteristik panas bumi pada daerah penelitian. Pembahasan mengenai analisis hidrokimia mata air panas pada daerah penelitian yang terdiri dari tiga mata air panas yaitu stasiun mata air panas EPU-1, EPU-2 dan EPU-3.

Penentuan tipe fluida geotermal daerah penelitian berdasarkan analisis hidrokimia mata air panas daerah penelitian menggunakan klasifikasi diagram Trilinier (Back, 1966 dalam Kusumayudha, 2005) berdasarkan kandungan relatif anion klorida (Cl<sup>-</sup>), sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dan Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang ditentukan titiknya pada diagram segitiga trilinier. Penentuan titik ini bertujuan untuk mengetahui sampel air yang mempunyai komposisi kimia mewakili mata air panas dari reservoir geotermal.

### Mata Air Panas Stasiun 1 (EPU-1)

Berdasarkan data hasil analisis kimia mata air panas yang dianalisis melalui Laboratorium Oseanografi Kimia Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin dengan pendekatan hidrokimia maka dilakukan perhitungan jumlah kadar ion klorida, sulfat, dan bikarbonat dari satuan ppm atau mg/L diubah menjadi meq/L (*milliequivalent per liter*) pada sampel mata air panas stasiun EPU-1 dengan koordinat x=0800149 dan y=9583229 serta elevasi= 31mdpl. Jumlah kandungan ion-ion tersebut dinyatakan dalam satuan meq/L (*milliequivalent per liter*) sehingga harus dikonversi mg/L menjadi meq/L.

$$\text{Meq/L} = \frac{\text{kadar (mg/L)}}{\text{BE}} \quad (1)$$

$$\text{BE} = \frac{\text{Massa Molekul relative (Mr)}}{\text{Valensi Senyawa (Vs)}} \quad (2)$$

Diketahui:

$$\text{HCO}_3^- = 56\text{mg/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 39\text{mg/L}$$

$$\text{Cl}^- = 1772,55\text{mg/L}$$

Berdasarkan hasil perhitungan dari tabel 2 maka didapatkan hasil konversi jumlah kadar unsur dari mg/L ke meq/L (Persamaan 1). Dari analisis perhitungan sebagai berikut:

$$\text{HCO}_3^- = 56\text{mg/L} = 0,918\text{meq/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 28\text{mg/L} = 0,812\text{meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 1772,55\text{mg/L} = 49.930\text{meq/L}$$

Tabel 2 merupakan tabel nilai perhitungan jumlah kadar ion klorida, sulfat, dan bikarbonat. Kadar ion dari setiap unsur dari sampel mata air panas stasiun EPU-1 diubah dari satuan ppm ke meq/L. Untuk perhitungan kadar ion pada sampel mata air panas stasiun EPU-2 dan stasiun EPU-3 dilakukan dengan cara perhitungan yang sama.

Perhitungan kadar masing-masing ion diawali dengan pengubahan satuan yaitu dari satuan ppm ke meq/L (*milliequivalent/liter*). Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah persentase kadar ion klorida, sulfat, dan bikarbonat dari tiap-tiap unsur (Giggenbach, 1991).

Tabel 2. Perhitungan jumlah kadar ion Klorida, Sulfat dan Bikarbonat dari ppm (mg/L) ke meq/L Pada Stasiun Mata air Panas EPU-1

Senyawa Penyusun	HCO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		Cl <sup>-</sup>
	H	C	O	S	O	Cl
Jumlah Atom	1	1	3	1	4	1
Massa Atom	1	12	16	32	16	35.5
Jumlah Massa Atom	1	12	48	32	64	35.5
Mr (molekul relatif)		61		96		35.5
Valensi setiap senyawa		1		2		1
Berat Equivalen (BE)		61		48		35.5
Kadar / senyawa (mg/L)		56		39		1772,55
meq/L		0,918		0,812		49.930
Jumlah Kadar (meq/L)				51,66		
Persentase / senyawa		1,777		1,571		96,651

Hasil perolehan persentase dari setiap anion tersebut, kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 3 yaitu (Umar, 2013):

$$\% \text{ Anion Unsur} = \frac{\text{meq/L Unsur}}{\text{Jumlah kadar meq/L}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\% \text{ Anion HCO}_3^- = (0,918/51,66) \times 100\% = 1,777\%$$

$$\% \text{ Anion SO}_4^{2-} = (0,812/51,66) \times 100\% = 1,571\%$$

$$\% \text{ Anion Cl}^- = (49,930/51,66) \times 100\% = 96,651\%$$

Jumlah atom, massa atom, jumlah massa atom didapatkan pada tabel periodik unsur (dapat dilihat pada lampiran D), molekul relatif didapatkan dari hasil penjumlahan jumlah massa atom dari setiap unsur sedangkan valensi setiap senyawa didapatkan dari kelompok mayor elemen yaitu anion dari setiap senyawa. Berat equivalen (BE) merupakan perbandingan antara massa molekul relatif (Mr) dengan valensi senyawa sedangkan kadar senyawa didapatkan dari hasil analisis laboratorium serta meq/L adalah perbandingan antara kadar senyawa dengan berat equivalen. Jumlah kadar didapatkan dari hasil penjumlahan dari setiap kadar senyawa sedangkan persentase senyawa didapatkan dari persentase meq/L. Hal ini berlaku juga pada mata air panas stasiun EPU-2 dan EPU-3.

### Mata air panas Stasiun 2 (EPU-2)

Mata air Panas stasiun EPU-2 memiliki koordinat x: 0800139, y: 9583301 dan elevasi 23mdpl. Berikut nilai dari perhitungan jumlah kadar ion klorida, sulfat dan bikarbonat dari satuan ppm ke meq/L pada sampel mata air panas EPU-2.

Diketahui:

$$\text{HCO}_3^- = 56\text{mg/L} = 1,311\text{meq/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 29\text{mg/L} = 0,604\text{meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 1772,55\text{mg/L} = 48,612\text{meq/L}$$

Sehingga diperoleh persentase dari setiap anion berikut ini:

$$\% \text{ Anion HCO}_3^- = (1,311/50,527) \times 100\% = 2,594\%$$

$$\% \text{ Anion SO}_4^{2-} = (0,604/50,527) \times 100\% = 1,195\%$$

$$\% \text{ Anion Cl}^- = (48,612/50,527) \times 100 = 96,209\%$$

Tabel 3. Perhitungan jumlah kadar ion Klorida, Sulfat dan Bikarbonat dari ppm (mg/L) ke meq/L Pada Stasiun Mata air Panas EPU-2

Senyawa Penyusun	HCO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		Cl <sup>-</sup>
	H	C	O	S	O	Cl
Jumlah Atom	1	1	3	1	4	1
Massa Atom	1	12	16	32	16	35.5
Jumlah Massa Atom	1	12	48	32	64	35.5
Mr	61		96		35.5	
Valensi setiap senyawa	1		2		1	
Berat Equivalen (BE)	61		48		35.5	
Kadar / senyawa (mg/L)	80		29		1725,75	
meq/L	1,311		0,604		48,612	
Jumlah Kadar (meq/L)			50,527			
Persentase / senyawa	2,594		1,195		96,209	

### Mata air panas Stasiun 3 (EPU-3)

Mata air panas stasiun EPU-3 memiliki koordinat x: 0800144, y: 9583359 dan elevasi 25mdpl. Berikut nilai dari perhitungan jumlah kadar ion klorida, sulfat dan bikarbonat dari satuan ppm ke meq/L pada sampel mata air panas EPU-3.

Tabel 4. Perhitungan jumlah kadar ion Klorida, Sulfat dan Bikarbonat dari ppm (mg/L) ke meq/L Pada Stasiun Mata air Panas EPU-3

Senyawa Penyusun	HCO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>		Cl <sup>-</sup>
	H	C	O	S	O	Cl
Jumlah Atom	1	1	3	1	4	1
Massa Atom	1	12	16	32	16	35.5
Jumlah Massa Atom	1	12	48	32	64	35.5
Mr	61		96		35.5	
Valensi setiap senyawa	1		2		1	
Berat Equivalen (BE)	61		48		35.5	
Kadar / senyawa (mg/L)	52		39		1526,85	
meq/L	0,852		0,812		43,009	
Jumlah Kadar (meq/L)			44,673			
Persentase / senyawa	1,907		1,817		96,257	

Diketahui:

$$\text{HCO}_3^- = 56\text{mg/L} = 0,852\text{meq/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} = 28\text{mg/L} = 0,812\text{meq/L}$$

$$\text{Cl}^- = 1772,55\text{mg/L} = 43,009\text{meq/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Anion } \text{HCO}_3^- &= (0,852/44,673) \times 100\% = 1,907\% \\ \% \text{ Anion } \text{SO}_4^{2-} &= (0,812/44,673) \times 100\% = 1,817\% \\ \% \text{ Anion } \text{Cl}^- &= (43,009/44,673) \times 100 = 96,275\% \end{aligned}$$

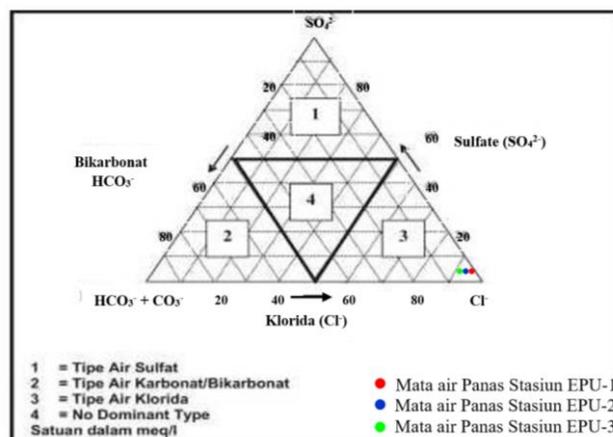
Kemudian diperoleh persentase dari setiap anion dari ketiga stasiun mata air panas yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Persentase Kadar ion Klorida, Sulfat dan Bikarbonat dari Ketiga Titik Mata air Panas Daerah Penelitian

No	Parameter	Stasiun Mata air Panas		
		EPU-1	EPU-2	EPU-3
1	Cl <sup>-</sup>	96,651%	96,209%	96,257%
2	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,571%	1,195%	1,817%
3	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,777%	2,594%	1,907%

Hasil persentase dari kandungan ion klorida, sulfat dan bikarbonat dari ketiga sampel mata air panas tersebut kemudian diplot ke dalam diagram *trilinier* yang ditunjukkan oleh gambar 1. Dari gambar diagram *trilinier* tersebut maka didapatkan hasil *plotting* dari ketiga sampel mata air panas dan dapat disimpulkan bahwa tipe mata air panas pada Daerah Sulili termasuk dalam tipe air panas Klorida.

Berdasarkan nilai persentase kandungan ion dari tiga sampel air panas yang telah dianalisis kandungan unsur-unsur kimianya terutama kandungan anion Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dan Klorida (Cl<sup>-</sup>) maka didapatkan hasil bahwa ketiga mata air panas pada Daerah Sulili merupakan tipe klorida. Hal ini ditandai dengan tingginya ion klorida yang terkandung dalam air panas dibandingkan dengan ion yang lainnya seperti sulfat dan bikarbonat serta pH relatif netral yaitu 7 (tabel 1) sedangkan berdasarkan pengukuran laboratorium pH berkisar antara netral hingga mendekati basa yaitu, 7,83-7,99.



Gambar 1. Diagram Trilinier Untuk Penentuan Tipe Mata air Panas Berdasarkan Kandungan ion Klorida, Sulfat dan Bikarbonat

Mata air panas daerah penelitian mempunyai temperatur berkisar antara 45-57°C (tabel 1) dapat diartikan bahwa dari ketiga mata air panas daerah penelitian dua di antaranya tergolong mata air hangat yaitu mata air panas Stasiun EPU-1 dan Stasiun EPU-3 dengan temperatur <50°C sedangkan mata air panas Stasiun EPU-2 tergolong mata air panas karena memiliki temperatur >50°C (Jamaluddin dan Umar, 2017).

Tipe mata air klorida merupakan fluida yang paling dominan pada kebanyakan lapangan geotermal. Tipe mata air klorida merupakan fluida panas bumi yang berasal dari reservoir tanpa sempat terkontaminasi batuan samping atau fluida lainnya. Air klorida didominasi oleh anion klorida dengan konsentrasi mencapai 10.000 mg/kg (Nicholson, 1993).

### Golongan Fluida Mata Air Panas Daerah Penelitian

Penentuan golongan fluida reservoir panas bumi menggunakan geotermometer Na-K-Mg. Nilai Natrium (Na), Kalium (K) dan Magnesium (Mg) yang didapatkan dari analisis Laboratorium Oseanografi Kimia Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin, kemudian dimasukkan ke dalam Persamaan 4 untuk mencari nilai persentase kandungan Magnesiumnya, guna diplot ke dalam diagram ternary. Dalam hal ini, hanya mata air panas Stasiun EPU-1 yang dapat dianalisis karena di kedua stasiun lainnya (Stasiun

EPU-2 dan Stasiun EPU-3) tidak terbaca karena memiliki kandungan Magnesium yang terlalu tinggi atau melebihi ambang batas dari nilai yang dapat terukur, sehingga nilai Mg dari kedua stasiun tersebut menjadi tak terhingga atau dengan kata lain unsur Mg yang dikandung terlalu tinggi.

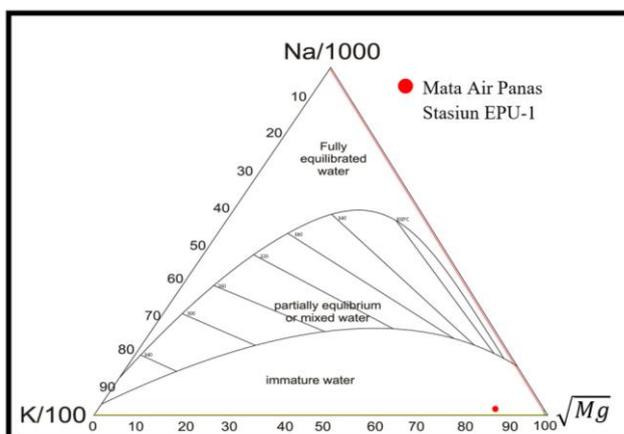
$$\text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}} \quad (4)$$

### Mata Air Panas Stasiun EPU-1

Berikut nilai persentase kandungan unsur Magnesium (Mg) pada mata air panas Stasiun EPU-1 melalui persamaan 4.

$$\begin{aligned} \text{Na}/1000 + \text{K}/100 + \sqrt{\text{Mg}} &= (178,924/1000) + \\ &(48,351/100) + (\sqrt{20,897}) = \\ 0,178924 + 0,48351 + 4,517323 &= 5,179757 \text{ ppm} \\ \% \text{Na}/1000 &= (0,178924/5,179757) \times 100\% \\ &= 3,454293\% \\ \% \text{K}/100 &= (0,48351/5,179757) \times 100\% \\ &= 9,334607\% \\ \sqrt{\text{Mg}} &= (4,517323/5,179757) \times 100\% \\ &= 87,2110989\% \end{aligned}$$

Persamaan 4 menghasilkan nilai persentase kandungan Magnesium pada mata air panas Stasiun EPU-1 sebesar 87,2110989%. Nilai tersebut kemudian diplot ke dalam diagram ternary yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Penggolongan Fluida Geotermal Mata air Panas Stasiun EPU-1 melalui *Plotting Diagram Ternary*

Berdasarkan hasil *plotting* kandungan kimia Na-K-Mg air panas daerah penelitian pada diagram

*ternary* (Giggenbach, 1988; Nicholson 1993) dapat diketahui bahwa mata air panas daerah penelitian termasuk dalam *immature water* atau tidak dalam keadaan kesetimbangan sehingga kurang dapat diandalkan untuk perhitungan geotermometer karena kandungan Mg yang terlalu tinggi. Kandungan Mg yang tinggi tersebut menunjukkan adanya pencampuran antara fluida geothermal dengan Mg rendah dan air tanah yang lebih dangkal dengan kandungan Mg yang tinggi (Prasetio dkk., 2018; Phuong dkk., 2012).

Adanya pencampuran ini tidak memungkinkan dihitungnya geotermometer silika secara langsung (Verma, 2000). Hal ini juga terlihat dari kandungan silika sampel yang relatif rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi air panas berasal langsung dari kedalaman dengan temperatur yang tinggi kemudian mendapatkan pengaruh pengisian ulang air permukaan. Hal ini ditandai dengan kandungan unsur Mg yang tinggi. Selain itu, keberadaan unsur Na dan K dalam kandungan kimia air panas biasanya berasal dari permukaan (Fournier, 1979; Iswahyudi dkk., 2019).

Berikut kondisi lapangan dari setiap stasiun daerah penelitian yang dapat dilihat pada gambar 3 sampai dengan gambar 5. Gambar 3 menunjukkan proses pengambilan sampel air panas yang bersuhu sekitar 45°C. dengan menggunakan alat *Kemmerer Water Sampler*.



Gambar 3. Mata air Panas Stasiun EPU-1 Difoto ke Arah Barat Laut N 292°E

Gambar 4 menunjukkan kenampakan mata air panas pada Stasiun EPU-2 dan berada di koordinat x: 0800139, y: 9583301 dengan elevasi 23mdpl. Garis berwarna merah merupakan titik keluarnya air panas dengan suhu 57°C.



Gambar 4. Mata air Panas Stasiun EPU-2 Difoto dengan Arah Barat Laut N 314°E

Gambar 5 menunjukkan lokasi mata air panas di Stasiun EPU-3 yang berada pada koordinat x: 0800144, y: 9583359 dan elevasi 25mdpl. dan elevasi 23mdpl serta suhu mata air 49°C.



Gambar 5. Mata air Panas EPU-3 Difoto dengan Arah Tenggara N 135°E

## PENUTUP

### Simpulan

1. Tipe mata air panas daerah penelitian tergolong dalam tipe air Klorida dengan persentase ion klorida yang lebih dominan yaitu 96,651%

dibandingkan ion bikarbonat 1,817% dan sulfat 2,594%.

2. Berdasarkan diagram *ternary* salah satu mata air panas daerah penelitian yaitu stasiun EPU-1 termasuk ke dalam golongan *immature water* sedangkan 2 stasiun mata air panas tidak dapat terplot pada diagram *ternary* disebabkan terlalu tingginya kadar Mg di dua stasiun tersebut.

### Saran

1. Bagi peneliti selanjutnya diharapkan dapat melakukan penelitian tentang temperatur bawah permukaan dan kedalaman reservoir daerah penelitian.
2. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya menggunakan metode geotermometer isotop untuk menentukan temperatur reservoir panas bumi agar dapat memberikan informasi tentang proses yang dialami fluida panas bumi saat naik hingga ke permukaan bumi (*surface*).
3. Perlunya dilakukan penelitian mengenai evaluasi potensi panas bumi pada daerah penelitian agar dapat diketahui potensi dalam pemanfaatan panas bumi secara tidak langsung terkait potensi Pembangkit Tenaga Listrik Panas Bumi (PLTPB).

### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Yayasan Wakaf Universitas Muslim Indonesia Makassar (LP2S-UMI) Makassar atas dukungannya selama proses pelaksanaan penelitian hingga ke tahap publikasi. Selain itu, Pemerintah Kabupaten Pinrang Sulawesi-Selatan, terkhusus Pemerintah Daerah setempat di Lingkungan Sulili Kelurahan Maminasae Kecamatan Paleteang atas dukungannya selama peneliti berada di lokasi penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, C. dan Wardhani, F.A. (2015), "Penentuan Tipe Fluida, Geotermometer Reservoir dan Hilang Panas Alamiah Berdasarkan Analisis Data Geokimia Panas Bumi di Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah". *Buletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 10, No 03, hal. 197-210. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v10i3.148>.

- Arnorsson, S., Bjarnason, J.O., Giroud, N., Gunnarsson, I., Stefansson, A., (2006), Sampling and analysis of geothermal fluids. *Geofluids* 6, 203–216. <https://doi.org/10.1111/j.14688123.2006.00147>.
- Fournier, R.O., (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geotherm. Resour. Coun. Trans.* 3, 221–224.
- Giggenbach, W.F., (1988), Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-KMg–Ca Geo-Indicators, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749–2765. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(88\)90143-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(88)90143-3)
- Giggenbach, W. F. (1991), *Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. pp. 119-142.
- Goff, F.E., dan Janik, C.J. (2000), *Encyclopedia of Volcanoes: Geothermal Systems*, Academic Press: A Harcourt Science and Technology Company.
- Isyanita., 2016, Instruksi Kerja, Laboratorium Oseanografi Kimia, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Iswahyudi, S., Attabik, L.W., Setijadi, R. dan Raharjo, S.A. (2019), “Perhitungan Temperatur Reservoir Panas Bumi Daerah Bantarkawung menggunakan Metode Geotermometer Na-K dan Entalpi-Silika”, *Jurnal Geosaintek*, Vol.5, No.1, hal. 7-12. <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v5i1.5055>.
- Jamaluddin dan Umar, E.P. (2017), “Karakteristik Fisik dan Kimia Mata air Panas Daerah Barasanga Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara”, *Jurnal Geocelebes*, Vol.1, No.2. hal. 62-65. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v1i2.2291>.
- Nicholson, K., (1993), *Geothermal Fluids; Chemistry and Exploration Techniques*, Springer Verlag, Inc, Berlin.
- Phuong, N.K., Harijoko, A., Itoi, R., Unoki, Y. (2012), “Water geochemistry and soil gas survey at Ungaran geothermal field, Central Java, Indonesia”, *Journal of Volcanology and geothermal research* 229, pp. 23-33.
- Prasetio, R., Laksminingpuri, N., dan Satrio., (2018), "Karakteristik Kimia dan Isotop Fluida Panas Bumi Daerah Gunung Tampomas, Jawa Barat", *Indonesian Journal of Geology and Mining Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol. 28, No.01, hal. 1-11. <http://dx.doi.org/10.14203/risetgeotam2018.v28.508>
- Saptadji, N.M. (2018), *Teknik Geotermal*. Bandung: ITB Press. ISBN: 978-602-5417-76-4.
- Tutu, R., Subaer., dan Usman. (2015), “Studi Analisis Karakterisasi dan Mikrostruktur Mineral Sedimen Sumber Air Panas Sulili di Kabupaten Pinrang”, *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, Vol.11, No.2, hal. 192-201. <https://doi.org/10.35580/jspf.v11i2.1488>.
- Tun, M.M., Warmada, I.W., Harijoko, A., Al-Furqan, R., Watanabe, K. (2015), "Characteristic of Hydrothermal Alteration in Cijulang Area, West Java, Indonesia", *Journal of Applied Geology*, Vol. 7, No. 01, hal. 1-9. <https://doi.org/10.22146/jag.16917>
- Umar, E.P. (2013), Analisis Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panasbumi Barasanga Menggunakan Metode Resistivitas Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara, Program Studi Magister Teknik Geologi Jurusan Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Umar, E.P. dan Jamaluddin. (2018), “Karakteristik Endapan Sinter Travertin Fisik Panasbumi Barasanga Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara”, *Jurnal Geocelebes*, Vol. 2, No.2, hal. 64-69. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v2i2.4830>.
- Umar, E.P., Husain, J.R., Muharni, S., Jamaluddin. dan Massinai, M.A. (2020), “Pengaruh Struktur Geologi terhadap Kemunculan Mata Air Panas Daerah Sulili Pinrang Sulawesi-Selatan”, *Jurnal Geocelebes*, Vol.4, No.1, hal. 41-45. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v4i1.9542>.
- Umar, E.P., Nawir, A., Husain, J.R., Tamar, K.R., Maria., Jamaluddin., dan Wakila, M.H. (2020), “Analisis Fluida dan Pemanfaatan Mata Air Panas Daerah Sulili Kabupaten Pinrang Provinsi Sulawesi-Selatan”, *Jurnal Geosaintek*, Vol.6, No.3, hal. 161-170. <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.8108>.
- Verma, M.P., (2000), Chemical thermodynamics of silica: A critique on its geothermometer. *Geothermics* 29, 323–346. [https://doi.org/10.1016/S0375-6505\(99\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0375-6505(99)00064-4)