

KARAKTERISTIK GEOKIMIA FLUIDA DAN PERKIRAAN TEMPERATUR BAWAH PERMUKAAN PANAS BUMI TEMPERATUR SEDANG DAERAH LARIKE DAN TULEHU KABUPATEN MALUKU TENGAH, PROVINSI MALUKU

Gabriella Georgina Joktetimera^{1*}, Agus Didit Haryanto¹, Johannes Hutabarat¹,
Dewi Gentana¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

Korespondensi : gabriella.joktetimera@gmail.com / gabriella17009@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Desa Larike, Kecamatan Leihitu Barat dan Desa Tulehu, Kecamatan Salahutu pulau Ambon, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Kedua daerah tersebut dipilih karena memiliki manifestasi panas bumi berupa mata air panas di permukaan. Tujuan penelitian untuk mengaplikasikan metode geokimia fluida untuk mengetahui karakteristik fluida dan perkiraan temperatur bawah permukaan. Metode penelitian menggunakan dua metode yaitu pengamatan di lapangan dan pengolahan data serta analisis data berdasarkan data laboratorium hasil analisis kimia mata air panas terhadap 3 (tiga) sampel mata air (LRK-1, LRK-2, THU-1). Hasil plotting data laboratorium kimia air panas pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, memperlihatkan mata air memiliki tipe air bikarbonat pada kondisi *peripheral waters*. Hasil plotting rasio unsur kimia Cl-Li-B terbentuk pada kondisi *absorption of low B/Cl steam* mendekati puncak Cl, indikasi Cl yang tinggi diduga sebagai hasil kontaminasi dengan air laut dikarenakan daerah pengambilan sampel berada dekat dengan pantai. Hasil plotting rasio unsur kimia Na-K-Mg, menunjukkan mata air (LRK-1, LRK-2 dan THU-1) berada pada kondisi *full equilibrium* dengan kandungan Na yang tinggi, mengindikasikan mata air mengalami kesetimbangan penuh ketika terjadi interaksi antara fluida panas dengan batuan sekitar. Berdasarkan hasil perhitungan persamaan geotermometer fluida (air) terhadap sampel mata air panas (LRK-1 dan THU-1), diperkirakan estimasi temperatur bawah permukaan daerah penelitian berkisar antara 109°C - 228°C, dan termasuk dalam sistem panas bumi bersuhu sedang.

Kata Kunci: Larike, Tulehu, Karakteristik Fluida Panas Bumi, Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan.

ABSTRACT

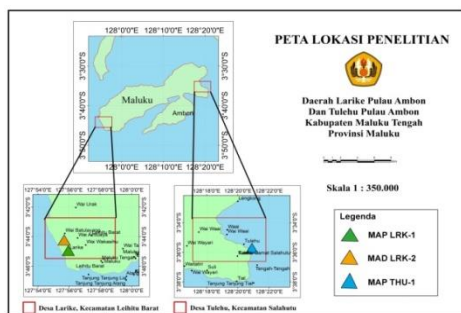
The research area is located in Larike Village, West Leihitu District and Tulehu Village, Salahutu District, Ambon Island, Central Maluku Regency, Maluku Province. The two areas were chosen because they have geothermal manifestations in the form of hot springs on the surface. The purpose of this research is to apply the fluid geochemical method to determine the characteristics of the fluid and estimate the subsurface temperature. The research method used two methods, namely field observations and data processing as well as data analysis based on laboratory data from the chemical analysis of hot springs on 3 (three) samples of springs (LRK-1, LRK-2, THU-1). The results of plotting hot water chemistry laboratory data on a Cl-SO₄-HCO₃ triangle diagram, show that the hot spring has a bicarbonate type of water in peripheral waters conditions. The results of plotting the ratio of chemical elements Cl-Li-B formed under conditions of absorption of low B/Cl steam near the peak of Cl, an indication of high Cl is suspected as a result of contamination with seawater because the sampling area is close to the coast. The results of plotting the ratio of the chemical elements Na-K-Mg, show that the hot springs (LRK-1, LRK-2 and THU-1) are in full equilibrium with a high Na content, indicating that the hot springs are in full equilibrium when there is an interaction between the hot fluid and the rock around. Based on the results of the calculation of the fluid (water) geotermometer equation for the hot spring sample (LRK-1 and THU-1), it is estimated that the estimated subsurface temperature of the research area is between 109°C - 228°C, and is included in the geothermal system with moderate temperature.

Keywords: Larike, Tulehu, Geothermal Fluid Characteristics, Estimated Subsurface Temperature.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya panas bumi yang besar yakni 23,9 GW dan kapasitas terpasang sebesar 2.130,7 MWe, setara dengan 8,9% dari potensi sumber daya panas bumi yang tersedia (EBTKE, 2021). Indonesia memiliki cadangan-cadangan panas bumi terbesar di dunia, karena itu pemerintah bertujuan meningkatkan peran energi ini sebagai penghasil listrik.

Daerah penelitian berada di Desa Larike, Kecamatan Leihitu Barat dan Desa Tulehu, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku (Gambar 1). Secara geografis daerah Larike terletak $3^{\circ}43'0''$ - $3^{\circ}45'0''$ LS dan $127^{\circ}54'0''$ - $127^{\circ}56'0''$ BT dan daerah Tulehu $3^{\circ}35'10''$ - $3^{\circ}36'40''$ LS dan $128^{\circ}18'30''$ - $128^{\circ}21'25''$ BT, dipilih sebagai lokasi penelitian dikarenakan pada kedua daerah tersebut terdapat manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas, mengindikasikan memiliki potensi sumber daya panas bumi yang dapat dikaji karakteristik fluida dan perkiraan temperatur bawah permukaannya.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

TINJAUAN PUSTAKA

Geologi Regional

Berdasarkan peta geologi lembar Ambon, Maluku oleh S.Tjokrosoepetro., dkk., (1993) skala 1:250.000, daerah penelitian tersusun oleh 2 (dua) satuan batuan (Gambar 2), yaitu:

1. Batugamping Koral (Ql)

Satuan batuan yang berumur Kuartar (Plistosen Akhir – Holosen) ini terdiri dari kolosi koral, ganggang dan bryozoa

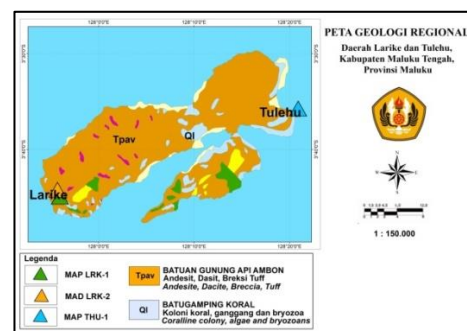
(coralline colony, algae and bryozoans) menempati bagian-bagian barat laut desa Tulehu.

2. Batuan gunung api Ambon (Tpav)

Satuan batuan ini terdiri dari andesit, dasit, breksi dan tuff (*andesite, dacite, breccia and tuff*) menempati sebagian besar daerah penelitian di Larike. Satuan batuan ini berumur Pliosen akhir – Plistosen awal.

Struktur geologi yang ada di daerah lembar Ambon, Maluku berdasarkan S. Tjokrosoepetro (1988) terdiri dari 3 (tiga) sesar, yaitu:

1. Sesar turun
2. Sesar geser
3. Sesar naik



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

(S. Tjokrosoepetro, dkk 1993)

Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi didefinisikan sebagai jenis sistem panas bumi dimana transfer panas dari sumber panas menuju permukaan bumi adalah melalui proses konveksi bebas yang melibatkan fluida meteorik dengan atau tanpa jejak fluida magmatik (Hochstein & Brown, 2000).

Hochstein dan Browne (2000) mengklasifikasikan sistem panas bumi berdasarkan temperatur reservoirnya sebagai berikut:

1. Sistem bersuhu tinggi ($>225^{\circ}\text{C}$)
2. Sistem bersuhu sedang ($125^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}$)
3. Sistem bersuhu rendah ($<125^{\circ}\text{C}$)

Geokimia Air Panas Bumi

Tipe Fluida

Nicholson (1993) membagi tipe panas berdasarkan kandungan anion dominan. Anion tersebut adalah Cl, SO₄, HCO₃. Beberapa tipe air panas bumi sebagai berikut:

1. Air Klorida (*Chloride Water*), merupakan tipe fluida panas bumi yang ditemukan pada kebanyakan area dengan sistem temperatur tinggi. Area yang memiliki mata air panas yang mengalir dalam skala besar dengan konsentrasi Cl yang tinggi berasal dari reservoir dalam, dan merupakan indikasi dari zona permeabel pada area tersebut.
2. Air Sulfat (*Sulfate Water*) merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat kondensasi gas panas bumi pada air permukaan. Hidrogen sulfida (H₂S) yang terdapat dalam uap panas tersebut mengalami oksidasi menjadi sulfat.
3. Air Bikarbonat (*Bicarbonate Water*), jenis tipe fluida ini disebut juga dengan *netral bicarbonate – sulphate waters*, merupakan produk dari proses kondensasi gas dan uap menjadi mata air bawah tanah yang miskin oksigen. Air bikarbonat banyak ditemukan pada area *non-volcanogenic* dengan temperatur yang tinggi. Tipe air bikarbonat biasanya memiliki pH mendekati netral akibat adanya reaksi dengan batuan selama migrasi lateralnya.
4. Air Sulfat Klorida (*Chloride Sulfate Water*), merupakan tipe fluida panas bumi yang terbentuk akibat pencampuran air klorida dan air sulfat dimana Hidrogen Sulfida (H₂S) dalam air alkali klorida teroksidasi menjadi ion sulfat (SO₄²⁻).
5. Air *Dilute* Klorida Bikarbonat terbentuk akibat adanya interaksi air klorida dengan air tanah (air bikarbonat) selama perjalanan lateral. Air panas ini kemungkinan berada pada batas zona *upflow* dan struktur *outflow* pada sistem panas bumi temperatur tinggi.

Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ digunakan untuk mengetahui tipe air panas (Giggenbach, 1988).

Asal Fluida

Nicholson (1993) menyebutkan ada 4 (empat) macam asal fluida panas bumi, yaitu: air meteorik atau air permukaan, air formasi atau *connate water*, air metamorfik, dan air magmatik.

Dalam penentuan asal fluida panas bumi, digunakan diagram segitiga Cl-Li-B (Giggenbach, 1988). Pengeplotan pada diagram Cl, Li dan B dapat digunakan dalam menentukan zona *upflow* dan zona *outflow* dari sebuah sistem panas bumi.

Kesetimbangan Fluida

Diagram segitiga dari Na/1000-K/100-Mg yang ditunjukkan oleh Giggenbach (1988) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk pendugaan temperatur reservoir dan untuk mengetahui air yang mencapai kesetimbangan dalam litologi.

Geoindikator

Geoindikator merupakan metode untuk menentukan zona *upflow* dan *outflow* pada sistem panas bumi. Zat – zat terlarut dibagi dalam 2 (dua) kategori yaitu: geoindikator yang merupakan zat terlarut yang bersifat reaktif dan mencerminkan lingkungan ekuilibrium atau kesetimbangan, dan *tracer* yang 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 (Giggenbach, 1991).

Geoindikator yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cl-SO₄-HCO₃, Cl-Li-B dan Na-K-Mg (Giggenbach, 1988).

Geotermometer

Geotermometer merupakan metode untuk memperkirakan temperatur reservoir panas bumi. Jenis – jenis geotermometer yang dipakai 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 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 dan Truesdell, 1973) diterapkan untuk air yang memiliki konsentrasi Ca tinggi. Geotermometer ini bersifat empiris dengan landasan teori yang belum dapat dipahami secara sempurna (Giggenbach, 1988).

METODE

Dalam penelitian ini digunakan dua metode yaitu:

1. Pengamatan Lapangan

Pengamatan morfologi, litologi, struktur geologi dan analisis sifat fisik mata air di daerah penelitian.

2. Pekerjaan Studio – Laboratorium

Pengolahan dan analisis data berdasarkan hasil laboratorium unsur-unsur geokimia air panas dengan menggunakan perhitungan geoindikator (untuk menentukan karakteristik tipe, asal dan kesetimbangan fluida panas bumi), dan geotermometer (untuk menentukan perkiraan temperatur reservoir).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geokimia Air Panas

Karakteristik Tipe Fluida

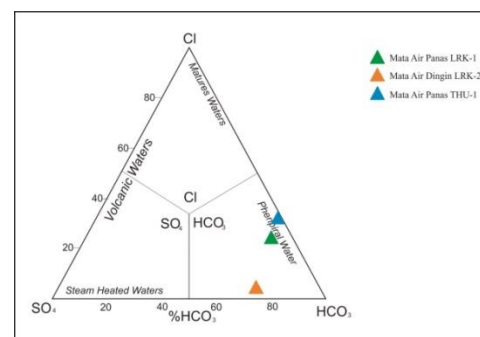
Penentuan tipe air panas dilakukan berdasarkan hasil plot dari unsur klorida (Cl), sulfat (SO_4) dan bikarbonat (HCO_3), yang diolah terlebih dahulu dengan

menghitung presentase dari masing-masing unsur Cl, SO_4 dan HCO_3 (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Presentase Senyawa Cl- SO_4 - HCO_3

Kode Sampel	Konsentrasi ppm (mg/L)		
	Cl	SO_4	HCO_3
MAP LRK-1	460,09	123,60	1467,51
MAD LRK-2	4,95	16,25	58,56
MAP THU-1	307,06	0,00	633,15
Kode Sampel	Presentasi (%)		
	Cl	SO_4	HCO_3
MAP LRK-1	22,43	6,02	71,54
MAD LRK-2	6,20	20,37	73,42
MAP THU-1	32,65	0	67,35

Dari hasil analisis kimia fluida panas bumi yang didapat melalui plotting diagram rasio Cl- SO_4 - HCO_3 dari ketiga lokasi mata air daerah penelitian diketahui bahwa tipe fluida panas bumi yang ada pada daerah penelitian merupakan tipe air bikarbonat (*bicarbonate water*), termasuk dalam zona *peripheral waters* (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil Plotting Kandungan Unsur Kimia Relatif Cl- SO_4 - HCO_3 Mata Air di Daerah Penelitian (Giggenbach, 1988)

Air bikarbonat dari mata air daerah penelitian termasuk dalam zona *pheripiral waters*, proses yang terjadi pada zona ini adalah pemanasan air meteorik oleh sumber panas yang berada di bawahnya, air tersebut menguap dan mengalami kondensasi kemudian muncul kembali ke permukaan dengan unsur HCO_3 yang dominan. Kemunculan mata air panas di permukaan diperkirakan sebagai *outflow* yang keberadaannya sangat dimungkinkan dipengaruhi oleh air permukaan.

Karakteristik Asal Fluida

Diagram segitiga Cl-Li-B digunakan untuk mengevaluasi proses pendidihan dan pengenceran berdasarkan perbandingan konsentrasi Cl-Li-B yang telah diubah dalam satuan persen (Tabel 2). Dari data dan perhitungan presentase kandungan ketiga unsur tersebut selanjutnya dilakukan pengeplotan pada diagram segitiga (Gambar 4) untuk setiap sampel mata air.

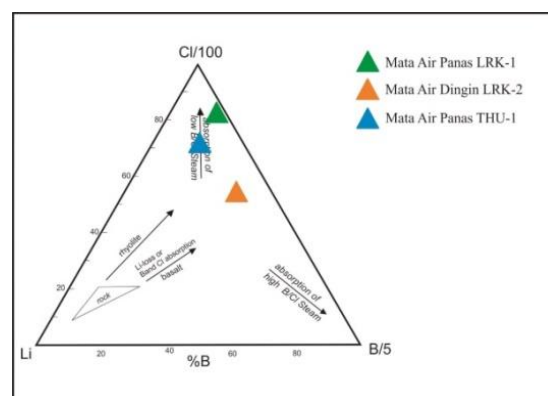
Perhitungan kandungan relatif unsur-unsur konservatif Cl, Li, dan B dilakukan agar dapat memberikan hasil mengenai karakteristik fluida, reservoir dan asal fluida panas bumi pada lokasi penelitian.

Tabel 2. Nilai Presentase Senyawa Cl-Li-B

Kode Sampel	Konsentrasi ppm (mg/L)		
	Cl	Li	B
MAP LRK-1	460,09	0,16	3,73
MAD LRK-2	4,95	0,01	0,14
MAP THU-1	307,06	0,64	2,80
Kode Sampel	Presentasi (%)		
	Cl	Li	B
MAP LRK-1	80,81	2,81	16,38
MAD LRK-2	52,38	10,58	37,04
MAP THU-1	69,62	14,51	15,87

Dari hasil perhitungan pada tabel 2 dan hasil plotting pada diagram segitiga Cl-Li-B, memperlihatkan bahwa ketiga sampel mata air daerah penelitian berada pada posisi yang sama yaitu *absorption of low B/Cl Steam* (Gambar 4). Diinterpretasikan mata air panas di daerah penelitian tidak dipengaruhi oleh aktivitas gunung api (jauh dari sumber panas suatu sistem panas bumi di kedalaman).

Melihat keberadaan ketiga lokasi mata air daerah penelitian yang relatif sangat dekat dengan pantai, melimpahnya kandungan Cl maka dimungkinkan bahwa mata air panas yang naik ke permukaan tersebut sebagai air tanah dangkal (*meteoric water*) yang terkontaminasi oleh air laut, hal ini menginterpretasikan keberadaan mata air berasal dari suatu sistem panas bumi non-vulkanik.



Gambar 4. Hasil Plotting Kandungan Unsur Kimia Relatif Cl-Li-B Mata Air di Daerah Penelitian (Giggenbach, 1988)

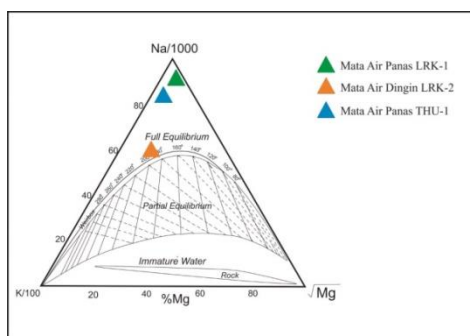
Karakteristik Keseimbangan Fluida

Diagram segitiga dari Na/1000-K/100-Mg yang ditunjukkan oleh Giggenbach (1988) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk pendugaan temperatur reservoir dan untuk mengetahui air yang mencapai keseimbangan dalam litologi. Dari data dan perhitungan presentase kandungan ketiga unsur tersebut (Tabel 3), dilakukan pengeplotan pada diagram segitiga Na/1000-K/100-Mg (Gambar 5) untuk setiap sampel mata air.

Tabel 3. Nilai Presentase Senyawa Na-K-Mg

Kode Sampel	Konsentrasi ppm (mg/L)		
	Na	K	Mg
MAP LRK-1	803,54	28,27	43,04
MAD LRK-2	11,73	5,18	3,10
MAP THU-1	258,92	34,48	15,15
Kode Sampel	Presentasi (%)		
	Na	K	Mg
MAP LRK-1	91,84	3,23	4,91
MAD LRK-2	58,62	25,88	15,49
MAP THU-1	83,91	11,17	4,91

Berdasarkan hasil perhitungan kandungan relatif Na-K-Mg serta setelah dilakukan pengeplotan hasil nilai pada segitiga Na-K-Mg, mata air LRK-1, LRK-2 dan THU-1 terletak pada kondisi *full equilibrium* dengan nilai kandungan senyawa Na yang relatif tinggi, maka diperkirakan ketiga sampel mata air tersebut telah mengalami kesetimbangan full ketika terjadi interaksi antara fluida panas dengan batuan.

**Gambar 5.** Hasil Ploting Kandungan Unsur Kimia Relatif Na-K-Mg Mata Air di Daerah Penelitian (Giggenbach, 1988)

Perkiraan Temperatur Bawah Permukaan

Berdasarkan analisis unsur kimia daerah penelitian, persamaan geotermometer yang digunakan untuk memprediksi temperatur bawah permukaan (reservoir), yaitu persamaan geotermometer *silica* (SiO_2) pada kondisi *maximum steam lost* (Fournier, 1977) dan *no steam lost* (Fournier, 1977), serta dengan persamaan geotermometer Na-K (Giggenbach, 1988) dengan persyaratan temperatur pada kesetimbangan 120°C - 250°C dan dengan persamaan geotermometer Na-K-Ca dengan $\beta = 1/3$ jika suhu $>100^\circ\text{C}$, dan dengan $\beta = 4/3$ jika suhu $<100^\circ\text{C}$ (Fournier, 1979).

Hasil perhitungan perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) dari masing-masing sampel air panas LRK-1 dan THU-1, menunjukkan di daerah penelitian memiliki temperatur bawah permukaan (reservoir) yang bervariasi (Tabel 4), sebagai berikut: Berdasarkan persamaan geotermometer SiO_2 (*silica – maximum steam lost*) diperoleh temperatur; $123,20^\circ\text{C}$ (LRK-1) dan $165,97^\circ\text{C}$ (THU-1), sedangkan berdasarkan persamaan SiO_2 (*silica – no steam lost*) diperoleh temperatur; $127,15^\circ\text{C}$ (LRK-1) dan $177,29^\circ\text{C}$ (THU-1). Berdasarkan persamaan geotermometer Na-K diperoleh temperatur; $109,37^\circ\text{C}$ (LRK-1) dan $228,61^\circ\text{C}$ (THU-1), sedangkan berdasarkan persamaan Na-K-Ca diperoleh temperatur; $144,87^\circ\text{C}$ (LRK-1) dan $186,77^\circ\text{C}$ (THU-1).

Tabel 4 Hasil Perhitungan Geotermometer Silika (SiO₂), Na-K dan Na-K-Ca

Mata Air Panas	SiO ₂ (°C)	
	Maximum Steam Lost (Fournier, 1977)	No Steam Lost (Fournier, 1977)
LRK-1	123,20	127,15
THU-1	165,97	177,29
Mata Air Panas	Na-K (°C)	
	Giggenbach (1988)	
LRK-1	109,37	
THU-1	228,61	
Mata Air Panas	Na-K-Ca (°C)	
	Fournier (1979)	
LRK-1	144,87	
THU-1	186,77	

Terdapatnya perbedaan hasil perhitungan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan geotermometer fluida (air), hal ini sangat dimungkinkan dikarenakan pada saat fluida (air) panas bumi dari bawah permukaan (reservoir) suatu sistem panas bumi dalam perjalanannya ke permukaan mengalami kontaminasi dengan unsur-unsur kimia lainnya baik unsur kimia dari batuan maupun mengalami pencampuran (*mixing*) atau pengenceran (*diluted*) dengan fluida dangkal membentuk kesetimbangan baru. Sedangkan hasil perhitungan geotermometer gas, memperlihatkan adanya kesesuaian dengan hasil analisis mineral alterasi dan pengukuran temperatur bawah permukaan (*down hole measurement*) karena gas yang terkandung dalam fumarol merupakan keluaran langsung dari reservoir (Gentana,D.,dkk.,2020).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Karakteristik geokimia mata air LRK-1, LRK-2 dan THU-1 masuk dalam tipe air bikarbonat yang terbentuk pada zona *phreatic waters*. Ketiga sampel terbentuk pada kondisi *absorption of low B/Cl steam*, dengan kandungan Cl yang tinggi, mengindikasikan mata air telah terkontaminasi dengan air laut. Mata air LRK-1, LRK-2 dan THU-1 terbentuk pada kesetimbangan *full equilibrium* dengan kandungan Na yang tinggi, mengindikasikan terjadi proses pelarutan dari batuan di daerah penelitian.

Berdasarkan hasil perhitungan persamaan geotermometer fluida (air) terhadap sampel mata air panas LRK-1 dan THU-1, diperkirakan estimasi temperatur bawah permukaan daerah penelitian berkisar antara 109°C - 228°C, dan termasuk dalam sistem panas bumi bersuhu sedang.

Saran

Perlu dikaji secara keekonomian bila daerah ini akan dikembangkan untuk pembangkit listrik maupun untuk daerah pariwisata (misalnya : pemandian air hangat atau wisata alam).

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W. Van., 1949. *The Geology of Indonesia*, vol, IA, Government Printing.
- Ellis, A.J., and Mahon, W. A. J., 1977. *Chemical Geothermometry in Geothermal Systems*. Geothermics, 219-226 pp.
- EBTKE., 2021. *Current Geothermal Landscape and Government Objective for Future Development*. Kuliah Umum; *geothermal goes to campus*. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran Bandung.
- Fournier, R., 1985, *Application of Water Geochemistry to Geothermal and*

- Reservoir Engineering*, vol. 5, United States Geological Survey, Reston.
- 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.
- 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 Sumatra*. Proceeding 5th International Conferences of Geological Engineering Faculty (ICGEF 2020).
- Giggenbach, W.F., 1988. *Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Indicators*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 52 No.12, pp. 2749-2765.
- Giggenbach, W., 1991a, *Geochemical techniques in geothermal exploration*, UNITAR UNDP, Guidebook: *Application of geochemistry in resources development*, hh. 119-144.
- Hochstein, M.P. and Browne, P.R.L., 2000. *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*, In *Encyclopedia of Volcanoes*.
- Hochstein, M.P and Brwone., 2000. *Surface Manifestation of Geothermal System With Volcanic Heat Sources*, In *Encyclopedia of Volcanoes*, Edit by H. Sigurdson. San Diego: Akademik Press: 835-865.
- Nicholson. K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry & Expoloration Techniques*, Berlin: Springer Verlag.
- S. Tjokrosapoetro, E. Rusmana, A. Achdan., 1993. *Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Lembar 2612 – 2613.