



KARAKTERISTIK RESERVOIR PANAS BUMI BERDASARKAN ANALISIS KIMIA FISIK FLUIDA AREA BOLAANG MONGONDOW TIMUR

Cyrke A.N. Bujung, Ferdy Dungus, dan Kartika C. Yasin
Fisika FMIPA Universitas Negeri Manado
kartikaconstantia@gmail.com

ABSTRAK. Energi panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang dapat menghemat penggunaan bahan bakar minyak nasional. Area Bolaang Mongondow Timur diidentifikasi mempunyai sistem panas bumi. Namun, sampai saat ini potensi panas bumi belum dikembangkan karena belum adanya pengetahuan tentang karakteristik reservoir sistem panas bumi. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang karakteristik reservoir panas bumi berupa tipe fluida, temperatur dan jenis reservoir berdasarkan analisis kimia fisik fluida area Bolaang Mongondow Timur. Metode penentuan karakteristik reservoir panas bumi menggunakan analisis kimia berdasarkan persentase kandungan fluida, nilai pH dan perhitungan geotermometer SiO_2 , Na-K dan Na-K-Ca, serta analisis fisik fluida berupa memperhatikan kenampakan secara fisik manifestasi panas bumi berupa warna, endapan dan temperatur manifestasi panas bumi. Berdasarkan analisis kimia fisik fluida menunjukkan bahwa panas bumi area Bolaang Mongondow Timur mempunyai tipe fluida bikarbonat dan asam sulfat, dengan jenis reservoir didominasi uap dan temperatur reservoir menggunakan persamaan geotermometer Na-K adalah $317,12^\circ\text{C}$.

ABSTRACT. Geothermal energy can be utilized as a power plant that can save the use of national fuel oil. The Bolaang Mongondow Timur area was identified as having a geothermal system. However, until now the geothermal potential has not been developed due to the lack of knowledge about the characteristics of the geothermal reservoir system. Therefore, research on the characteristics of geothermal reservoir in the form of fluid type, temperature and type of reservoir is based on the analysis of the physical chemistry of the East Bolaang Mongondow area. The method of determining the characteristics of geothermal reservoirs uses chemical analysis based on the percentage of fluid content, pH values and geotermometer calculation of SiO_2 , Na-K and Na-K-Ca, as well as physical analysis of fluid in the form of observing the physical appearance of geothermal manifestations in the form of colors, deposits and temperature manifestations geothermal. Based on physical chemical analysis of the fluid shows that the geothermal area of the East Bolaang Mongondow area has a bicarbonate fluid type and sulfuric acid, with the type of reservoir dominated by steam and reservoir temperatures using the Geotermometer Na-K equation (Giggenbach) is 317.12°C .

Kata Kunci : Patahan, Manifestasi, Tipe Fluida, Jenis Reservoir, Temperatur.

Keywords : Fault, Manifestation, Type Of Fluid, Type of Reservoir, Temperature.

PENDALUHUAN

Panas bumi adalah energi panas terkandung dalam uap air, air panas dan batu. Panas bumi atau yang dikenal *geothermal* merupakan bahasa latin dari kata “*geo*” berarti bumi dan “*thermal*” berarti panas. *Geothermal* merupakan panas bumi terbentuk dengan alami di dalam bumi. Panas bumi adalah energi dari hasil perpindahan energi secara konduksi melalui batuan maupun konveksi melalui air. Adanya panas bumi ditunjukkan dengan kemunculan manifestasi berupa tanah beruap, kumbangan lumpur, dan silaka sinter. Manifestasi permukaan terjadi karena perambatan panas dari bawah permukaan rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir menuju permukaan. Terdapat 256 lokasi panas bumi dengan potensi listrik 27.441 MWe, tersebar di Indonesia (Maubana, dkk., 2019). Energi panas bumi dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang dapat menghemat penggunaan bahan bakar minyak nasional (Heurudin, dkk., 2019). Sistem panas bumi area Bolaang Mongondow Timur dikontrol oleh struktur kaldera besar Gunung Ambang dan beberapa arah patahan yang mengontrol kemunculan manifestasi dipermukaan bumi berupa mata air panas dan solfatara. Sampai saat ini potensi panas bumi belum dikembangkan karena belum adanya pengetahuan tentang karakteristik reservoir sistem panas bumi. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang karakteristik reservoir panas bumi berupa tipe fluida, temperatur dan jenis reservoir berdasarkan analisis kima fisik fluida area Bolaang Mongondow Timur. Metode penentuan karakteristik reservoir panas bumi menggunakan analisis kimia berdasarkan persentase kandungan fluida, nilai pH dan perhitungan geotermometer SiO_2 , Na-K dan Na-K-Ca, serta analisis fisik fluida berupa memperhatikan kenampakan secara fisik manifestasi panas bumi berupa warna, endapan dan temperatur manifestasi panas bumi.

Data fluida berguna untuk memperkirakan panas bumi bawah permukaan berupa temperatur, sifat fluida, jenis reservoir, korosifitas dan endapan pipa dalam proses pembangun pembangkit panas bumi. Tipe fluida panas bumi ditentukan berdasarkan tiga anion utama fluida panas bumi adalah klorida (Cl), sulfat (SO_4), dan karbonat (HCO_3).

Air alkali klorida adalah tipe fluida yang ditemukan pada area bertemperatur tinggi. Area dengan mata air panas mengalir dalam debit berskala besar, dengan konsentrasi Cl tinggi merupakan air dari reservoir dalam, dan diindikasikan sebagai zona permeabel atau zona *upflow* (zona keluaran fluida panas bumi). Namun bisa saja terletak bukan pada zona *upflow*, karena pengaruh topografi yang mengontrol hidrologi. Terdapatnya air klorida mengidentifikasi sebagai daerah permeabel tinggi berupa erupsi breksi atau conduit dan patahan (Aribowo & Nurohman, 2012).

Air asam sulfat terjadi di area panas bumi vulkanik dengan uap mengalami kondensasi sehingga menjadi air. Air asam sulfat merupakan hasil oksidasi H_2S di atas permukaan air. Air asam sulfat adalah fluida hasil kondensasi gas panas bumi menuju permukaan. Air asam sulfat umumnya terdapat pada area *upflow* utama. Secara topografi, lokasinya terletak disekeliling *boiling zone*. Pada area patahan air asam sulfat mengalir, dipanaskan dan mengalami altrasi batuan. Air asam sulfat-klorida merupakan pencampuran air asam sulfat dan klorida. Ion sulfat yang teroksidasi menjadi SO_4 dan air alkali klorida bereaksi dengan batuan sulfur, kandungan Cl dan SO_4 cukup tinggi dan pH sekitar 2 – 5 (Aribowo & Nurohman, 2012).

Air bikarbonat merupakan hasil kondensasi gas serta uap yang menjadi mata air yang miskin oksigen, pH mendekati netral adalah akibat reaksi batuan lokal. Selama reaksi tersebut, banyak proton hilang menghasilkan air yang mendekati netral dimana bikarbonat

dan sodium merupakan parameter utama. Sulfat dengan kandungan yang varian dan klorida dengan kandungan rendah (Aribowo & Nurohman, 2012). Air bikarbonat bersifat korosif dan mudah bereaksi, HCO_3 konsentrasinya tinggi, Cl konsentrasinya rendah, pH sekitar 5-6.

Kandungan kimia dan sifat fisik air dapat menjadi penentu jenis reservoir. Mata air panas dengan pH 6-7,5 adalah manifestasi panas bumi dari sistem dominasi air. Mata air panas dengan pH netral, berkonsentrasi Cl tinggi, jenuh terhadap silika merupakan mata air panas dominasi air. Pengukuran pH 6-7.5 dengan tipe alkali klorida maka sistem panas bumi didominasi air (Parmanda & Putra, 2017).

Kandungan fluida dapat memperkirakan temperatur sumber air bawah permukaan menggunakan geotermometer fluida panas bumi. Suhu reservoir dapat dihitung berdasarkan kandungan silika dengan air jenuh kuarsa, adiabatik, dan pendinginan isoentalpi. Geotermometer Na-K tepat untuk air jenis alkali klorida dan pH netral. Namun tidak untuk endapan travertin (endapan panas bumi dalam bentuk batu kapur). Dan geotermometer Na-K-Ca untuk kandungan fluida yang konsentrasi Ca tinggi atau hampir sama dengan Na, K. (Wowa & Wiloso, 2017).

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada tanggal 2-10 Desember 2019. Lokasi di Provinsi Sulawesi Utara, Bolaang Mongondow Timur sekitar 150 Km dari Kota Manado, ibukota provinsi. Secara geografis, wilayah Bolaang Mongondow Timur berada pada $124^{\circ}19'15''$ - $124^{\circ}51'14''$ BT dan $0^{\circ}25'05''$ - $0^{\circ}57'40''$ LU.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan berupa termometer untuk pengukuran suhu, pH meter untuk pengukuran tingkat keasamaan, GPS untuk penentuan titik koordinat, *software Ms.Excell* untuk

perhitungan data fluida dan *Software ProSim Ternary Diagram* untuk *plotting* tipe fluida. Bahan yang digunakan berupa peta geologi sebagai sumber data geologi dan sebaran manifestasi mata air panas, peta Bolaang Mongondow Timur sebagai sumber data wilayah administratif lokasi penelitian dan data geokimia sebagai data fluida panas bumi.

Prosedur

Langkah-langkah dalam penelitian ini berupa studi literatur, survei lapangan, pengukuran dan pengambilan lapangan, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data.

Studi literatur berupa analisis peta geologi dan peta Bolaang Mongondow Timur. Dari ke dua peta tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat sesar sekitar area Bolaang Mongondow Timur dan adanya manifestasi mata air panas bumi. Sehingga dapat diasumsikan area Bolaang Mongondow Timur memiliki sistem panas bumi. Tahap survei lapangan dilaksanakan untuk mencari tahu apakah area penelitian mempunyai sebaran manifestasi sebagai bagian dari sistem panas bumi dan dilaksanakan untuk pengukuran dan pengambilan data lapangan. Pengukuran dan pengambilan data berupa pH manifestasi menggunakan pH meter, temperatur manifestasi, temperatur tanah, temperatur udara menggunakan termometer dan lokasi peneliti menggunakan GPS Navigasi pada setiap sebaran manifestasi area penelitian. Tahap pengumpulan data berupa pengumpulan data pengukuran dilapangan dan kandungan kimia fluida manifestasi panas bumi lokasi penelitian.

Teknik Pengolahan Data

Pengukuran data yang dilakukan dilapangan sebagai data primer berupa suhu manifestasi dan udara, pH manifestasi maupun data sekunder berupa kandungan fluida panas bumi. Setelah pengukuran dan pengumpulan data kimia fisik fluida maka dalam pengolahannya,

diolah dan dianalisis berdasarkan data kimia fisik fluida panas bumi untuk ditentukan tipe fluida, jenis reservoir dan besar temperatur reservoir sebagai karakterteristik reservoir panas bumi.

Tipe fluida panas bumi air asam sulfat, sulfat klorida, karbonat dan alkali klorida ditentukan berdasarkan data kimia fisik fluida. Data kandungan fluida akan dimasukkan pada software *prosim ternary diagram*. Data yang akan di masukkan dalam bentuk persentase menggunakan persamaan :

Persentase untuk Cl

$$\% \text{ Cl} = \frac{c(\text{Cl})}{s} \times 100$$

Persentase untuk HCO₃

$$\% \text{ HCO}_3 = \frac{c(\text{HCO}_3)}{s} \times 100$$

Persentase untuk SO₄

$$\% \text{ SO}_4 = \frac{c(\text{SO}_4)}{s} \times 100$$

Total konsentrasi

$$S = C(\text{Cl}) + C(\text{SO}_4) + C(\text{HCO}_3)$$

Dengan kandungan tiap anion dalam mg/l dan S sebagai total konsentrasi. Kemudian akan dimodelkan dalam bentuk diagram terner untuk melihat kecenderungan tipe fluida.

Penentuan jenis reservoir berdasarkan kimia fisik fluida berupa kandungan fluida, temperatur, pH, dan kondisi fisik manifestasi dan kemudian akan dianalisis. Indikator penggolongan jenis reservoir pada mata air panas berupa mata air panas dengan pH asam adalah sistem dominasi uap, mata air panas dengan pH netral adalah sistem dominasi air, mata air panas dengan pH di kaki gunung adalah sistem dominasi uap, mata air panas jenuh silika adalah sistem dominasi air, mata air panas tanpa Cl tinggi adalah sistem dominasi uap sedangkan mata air panas Cl tinggi adalah sistem dominasi air.

Temperatur reservoir ditentukan berdasarkan geotermometer fluida panas bumi. Data kandungan fluida akan

dimasukkan pada geotermometer fluida. Berikut persamaan geotermometer fluida:

Geotermometer SiO₂ untuk pendinginan secara adiabatik

$$T = \frac{1533,5}{5,768 \log \text{SiO}_2} - 273$$

Geotermometer SiO₂ untuk pendinginan secara konduktif

$$T = \frac{1315}{5,205 \log \text{SiO}_2} - 273$$

Geotermometer SiO₂ untuk pendinginan secara konduktif bila air permukaannya jenuh dengan *Chalcedony*

$$T = \frac{1015,1}{4,655 \log \text{SiO}_2} - 273$$

Geotermometer Na-K untuk persamaan umum

$$T = \frac{855,6}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+0,8573} - 273$$

Geotermometer Na-K fournier

$$T = \frac{1217}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+1,483} - 273$$

Geotermometer Na-K giggenbach

$$T = \frac{1390}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+1,75} - 273$$

Geotermometer Na-K-Ca

$$T = \frac{855,6}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right)+\log\left(\frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}}\right)+0,8573} - 273$$

Dengan T satuannya °C dan kandungan fluida mg/l. Hasil perhitungan geotermometer fluida panas bumi akan menghasilkan nilai temperatur reservoir yang varian. Maka perlu diadakan tahap selanjutnya berupa, analisis untuk penentuan hasil pengukuran yang akan digunakan sebagai nilai dari temperatur reservoir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mata air panas yang tersebar di sekitar area Bolaang Mongondow Timur (Bongkudai, Liberia dan Muayat) yang memiliki temperatur manifestasi berkisar 44,5-52,5°C, temperatur udara berkisar

22,5-28°C, temperatur tanah berkisar 22,8-28,2°C, mengindikasikan bahwa manifestasi panas bumi area Bolaang Mongondow Timur termasuk kategori panas dan memiliki nilai pH 6,02-6,2 yang mendekati pH netral.

Hasil

Data primer dari pengukuran lapangan panas bumi area Bolaang Mongondow Timur berupa temperatur dan pH fluida berada pada titik kordinat 124°23'36''-124°26'21'' BT dan 0°43'10''-0°46'49'' LU. Dan data sekunder berupa kandungan fluida manifestasi mata air panas bumi area Bolaang Mongondow Timur.

Persentase tipe fluida panas bumi diperlukan untuk melihat kecenderungan tipe fluida dalam bentuk diagram ternary. Untuk memperoleh persentase tipe fluida menggunakan persamaan persentase Cl, SO₄, HCO₃. Tabel 1 merupakan data persentase tipe fluida.

Tabel 1. Persentase Tipe Fluida Panas Bumi

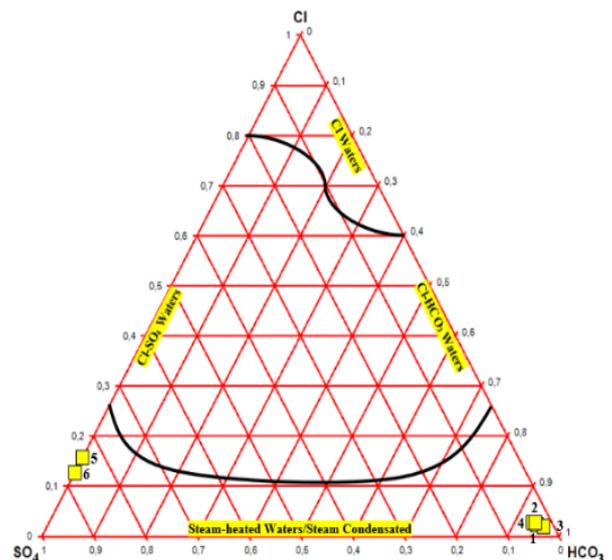
No.	Sampel	%		
		SO ₄	HCO ₃	Cl
1.	BMT -1	3,13	94,45	2,4
2.	BMT -2	3,65	93,51	2,82
3.	BMT -3	2,05	96,02	1,91
4.	BMT -4	3,2	94,1	2,69
5.	BMT -5	87,19	0	12,8
6.	BMT -6	84,25	0	15,74

Kandungan kimia fisik fluida diperlukan untuk menentukan jenis reservoir panas bumi. Temperatur dan pH fluida didapatkan dari hasil pengukuran lapangan sedangkan data kandungan fluida didapatkan dari hasil uji kimia mata air panas bumi Kotamobagu (Riogilang & Taguchi, 2012). Tabel 2 merupakan data mata air panas area Bolaang Mongondow Timur.

Tabel 2. Kandungan Kimia Fisik Fluida Panas Bumi

No.	Sampel	T (°C)	pH	Mg/L		
				SO ₄	HCO ₃	Cl
1.	BMT -1	46,4	6,04	11,2	338	8,6
2.	BMT -2	48,0	6,02	12,0	308	9,3
3.	BMT -3	43,4	5,89	6,2	290	5,8
4.	BMT -4	52,2	6,02	10,7	315	9,0
5.	BMT -5	24,7	2,24	1940	0	285
6.	BMT -6	49,5	2,72	1713	0	320

Hasil perhitungan persentase fluida diinput ke dalam software *ProSim Ternary* untuk dimodelkan kecenderungan tipe fluida panas bumi. Gambar 1 merupakan pemodelan tipe fluida panas bumi dengan diagram terner.



Gambar 1. Diagram Ternary Tipe Fluida Panas Bumi

Perhitungan temperatur reservoir menggunakan geotermometer SiO₂, Na-K, dan Na-K-Ca dengan memasukkan data kandungan fluida berupa SiO₂, Na, K, dan Ca. Tabel 3 merupakan varian hasil perhitungan temperatur reservoir menggunakan geotermometer SiO₂, Na-K dan Na-K-Ca.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Temperatur Reservoir

No.	Sampel	T (°C)						
		SiO ₂			Na-K			
		Pendinginan		Jenuh	Konduktif			Na-K
		Adiabatik	Konduktif		Chalcedo	Fournier	Giggenbach	
1.	BMT-1	-146,37	-152,69	-103,89	326,45	319,79	326,13	140,33
2.	BMT-2	-148,73	-156,53	-172,5	357,36	340,71	344,77	150,56
3.	BMT-3	-148,66	-154,32	-170,57	381,47	356,59	358,81	142,33
4.	BMT-4	-146,37	-152,69	-103,89	376,51	353,35	355,95	152,67
5.	BMT-5	-146,37	-152,69	-103,89	227,35	246,41	259,56	89,4
6.	BMT-6	-151,01	-157,04	-195,4	222,33	244,21	257,53	95,79

Pembahasan

Tipe fluida panas bumi mempunyai beberapa tipe diantaranya, asam sulfat, bikarbonat, klorida dan sulfat klorida. Persentase kandungan kimia fluida berupa SO₄, HCO₃ dan Cl di *input* dalam *software ProSim Ternary*. Dapat dilihat pada Tabel 1 hasil perhitungan persentase fluida diperoleh hasil BMT-1, BMT-2, BMT-3, dan BMT-4 yang terdapat di daerah Liberia dan Bongkudai mempunyai persentase HCO₃ lebih besar dibanding Cl dan SO₄ yang mencapai nilai di atas 90%. Setelah dimodelkan dalam bentuk diagram ternary dapat dilihat bahwa kecenderungan tipe fluida BMT-1, BMT-2, BMT-3 dan BMT-4 cenderung terhadap fluida bertipe bikarbonat. Dapat dilihat pada Gambar 1 pemodelan tipe fluida panas bumi. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian sebelumnya dengan hasil penelitian berupa tipe fluida bikarbonat yang kaya unsur HCO₃, pH sekitar 5,89-6,04 (mendekati netral) dan kandungan Cl rendah disebut *netral bicarbonate-sulphate waters* (hasil kondensasi gas dan uap menjadi air yang miskin oksigen) Dengan pH yang mendekati netral dan kandungan Cl rendah diinterpretasikan dari pengenceran air reservoir panas bumi oleh air meteorik (Aribowo & Nurohman, 2012).

Sedangkan BMT -5 dan BMT -6 yang terdapat di area sekitar Muayat

mempunyai persentase SO₄ lebih besar dibanding Cl dan HCO₃ yang mencapai nilai di atas 80%. Dengan kecenderungan pemodelan diagram ternary BMT-5 dan BMT -6 cenderung terhadap fluida bertipe asam sulfat. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian sebelumnya dengan hasil penelitian berupa tipe fluida asam sulfat yang dari hasil kondensasi gas panas bumi menjadi air tanah kaya oksigen dengan oksidasi hidrogen sulfida menyebabkan tingginya konsentrasi SO₄ (Triandanu, dkk., 2016). Air sulfat umumnya terdapat di daerah tidak jauh dari zona upflow. Air sulfat mengalir melalui patahan menuju sistem panas bumi. Pada lokasi tersebut air sulfat dipanaskan, kemudian terjadi alterasi batuan dan bercampur dengan air klorida. Area sampel fluida dengan pH 2,24-2,72 dan kandungan Cl rendah serta HCO₃ = 0 yang merupakan ciri dari tipe fluida asam sulfat. Tipe fluida area Bolaang Mongondow Timur mempunyai tipe fluida yang berbeda. Lokasi penelitian sampel BMT-1, BMT-2, BMT-3, dan BMT-4 yang terdapat di daerah Liberia dan Bongkudai, cenderung terhadap fluida bertipe bikarbonat, sedangkan BMT-5 dan BMT-6 yang terdapat di area sekitar Muayat cenderung terhadap fluida bertipe asam sulfat. Hal ini diasumsikan karena area Bolaang Mongondow Timur memiliki keadaan geologi yang varian sehingga keluaran fluida panas bumi mempunyai tipe fluida yang berbeda akibat sebaran batuan dan mineral batuan yang berbeda.

Berdasarkan temperatur air dengan rata-rata 44,03°C merupakan ciri dari manifestasi panas bumi. Pada tiap sampel air panas mempunyai pH dan kandungan yang berbeda. Sampel BMT-1, BMT-2, BMT-3, BMT-4, BMT-5 dan BMT-6 yang terdapat di daerah Liberia, Bongkudai dan sekitar Muayat. Penelitian mata air panas yang berpH basa mata air panas menghasilkan jenis reservoir dominasi air (Parmanda & Putra, 2017). Maka untuk area Bolaang Mongondow Timur mempunyai pH 2,24-6,04 yang

masuk dalam kategori asam dengan kandungan Cl berkisar 5,8-320 mg/l atau dalam persentase 1,19-15,74% dapat dilihat pada Tabel 2 yang termasuk rendah kandungan kloridanya merupakan sistem panas bumi dengan jenis reservoir dominasi uap.

Geotermometer fluida berupa silika, Na-K, dan Na-K-Ca temperatur reservoir dapat dihitung dengan memasukkan data kandungan fluida panas bumi. Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan varian hasil perhitungan temperatur dengan perhitungan menggunakan persamaan yang berbeda. Geotermometer silika berlaku untuk temperatur air dengan suhu tinggi (180-260°C) tidak cocok untuk sistem panas bumi area Bolaang Mongondow Timur karena air panas bumi area penelitian berada dibawah suhu 180°C. Adapun geotermometer Na-K-Ca tidak cocok untuk diterapkan pada air panas bumi dengan pH asam sehingga sistem panas bumi area Bolaang Mongondow Timur yang pH-nya berkisar 2,24-6,04 tidak cocok karena masuk dalam kategori asam. Na⁺ dan K⁺ merupakan ion yang kesetimbangannya lambat, maka pencampuran ion-ion lain tidak akan memberi pengaruh yang cukup besar sehingga hasil geotermometer Na-K dapat menggambarkan suhu bawah permukaan. Perhitungan ini lebih tepat digunakan untuk air dengan tipe bikarbonat dengan air bersifat mendekati netral, kandungan kalsium rendah maka geotermometer Na/K menghasilkan pengukuran yang baik pada suhu 180-350°C (Wowa & Wiloso, 2017).

Adapun kandungan fluida sistem panas bumi area Bolaang Mongondow Timur mempunyai kandungan Ca yang rendah, pH rata-rata mendekati netral dengan tipe air sulfat dan bikarbonat maka hasil perhitungan temperatur reservoir menggunakan geotermometer Na-K dapat digunakan untuk menentukan besar temperatur reservoir panas bumi area Bolaang Mongondow Timur.

Berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K untuk persamaan

umumnya menghasilkan nilai berkisar 222,33-381,47°C atau rata-rata temperaturnya 315,24°C. Dengan menggunakan persamaan *Fournier* menghasilkan nilai berkisar 244,21-356,59°C atau rata-rata temperaturnya 310,17°C. Sedangkan menggunakan persamaan *Giggenbach* menghasilkan nilai berkisar 257,53-358,81°C atau rata-rata temperaturnya 317,12°C.

Kesimpulan

Karakteristik reservoir panas bumi area Bolaang Mongondow Timur memiliki tipe fluida bikarbonat yang terdapat di Liberia Bongkudai dan asam sulfat yang terdapat di Muayat, jenis reservoir panas bumi merupakan dominasi uap dan besar temperatur reservoir menggunakan persamaan *Giggenbach* adalah 317,12°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, Y., & Nurohman, H. (2012). Studi Geokimia Air Panas Area Prospek Panas Bumi Gunung Kondalisodo Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 33 (1), 32-36.
- Haerudin, N., Pardede, V., & Rasimeng, S. (2009). Analisis Reservoir Daerah Potensi Panas Bumi Gunung Rajabasa Kalianda Dengan Metode Tahanan Jenis Dan Geotermometer. *Jurnal Ilmu Dasar*, 10 (2), 141-146.
- Maubana, W., Maryanto, S., & Nadir, A. (2019). Geochemical Analysis of Mount Pandan Geothermal Area in East Java Indonesia. *Jurnal Internasional Inovatif Energi dan Teknik*, 6 (1), 137-141.
- Parmanda, R., & Putra, A. (2017). Estimasi Karakteristik Reservoir Panas Bumi dari Sumber Mata Air Panas di Kecamatan Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*, 6 (1), 39-46
- Riogilang, H., Itoi, R., & Taguchi, S. (2012). *Origin of Hot Spring Water in Kotamobagu, Northern Sulawesi, Indonesian*. *Jurnal Panas Bumi Jepang*, 34 (3), 151-159
- Saptadji, N. (2010). *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Triandanu, N., Gemilang, A., Alam Boy, & Hadian, S. (2016). *Geothermal Fluid Characteristic Based on Fluid Geochemistry Analysis, Kapagiang, Bengkulu. Proceeding seminar Internasional*. Geothermal

Workshop: 1-7, Bandung, 28 Maret – 1 April
2016: ITB. Diakses 14 Oktober 2019
<http://media.unpad.ac.id/files/publikasi/2016>

Wowa, F., & Wiloso, D. (2017). Studi Geokimia Untuk Pendugaan Suhu Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Salote Geothermometer di D. Pablengan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. *Proceeding seminar nasional*. Seminar Nasional Kebumihan ke-10: 1499-1515, Yogyakarta, 13 – 14 September. Diakses 12 Oktober 2019
<http://repository.ugm.ac.id/2742391/1/PTF-01>