

ANALISIS SIFAT KIMIA FISIK FLUIDA DAN ESTIMASI TEMPERATUR RESERVOIR DI DAERAH MANIFESTASI PANAS BUMI BAKAN BOLAANG MONGONDOW

Marcelino Datunsolang, Cyrke Bujung, Jeferson Polii

Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Manado

email: marcelinodatunsolang9@gmail.com

ABSTRAK. Bolaang Mongondow merupakan salah satu daerah yang memiliki Gunung Api aktif yaitu gunung api Ambang yang terletak di desa Bakan. Adanya manifestasi mata air panas yang muncul menandakan adanya potensi energi panasbumi di daerah tersebut. Namun sampai saat ini potensi panas bumi yang berada pada daerah tersebut belum dikembangkan karena kurangnya pengetahuan tentang penentuan potensi panas bumi. Untuk itu dilakukan penelitian tentang karakteristik reservoir seperti tipe fluida dan estimasi temperatur reservoir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis geokimia fluida berupa presentase kandungan fluida dan perhitungan geotermometer. Analisis tipe fluida ditentukan berdasarkan plotting pada diagram ternary Na-K-Mg. Sedangkan estimasi temperatur reservoir ditentukan dengan menggunakan persamaan geotermometer Na-K. Dari hasil analisis kimia fisik fluida pada mata air panas Bakan, didapatkan hasil bahwa tipe fluida daerah Bakan bertipe immature water. Berdasarkan perhitungan estimasi temperatur reservoir menggunakan Geotermometer Na-K, suhu bawah permukaan berkisar 235°C-242°C dan termasuk reservoir bersuhu tinggi.

ABSTRACT. Bolaang Mongondow is an area that has an active volcano, namely the Ambang volcano, which is located in the village of Bakan. The existence of hot spring manifestations that appear indicates the potential for geothermal energy in the area. However, until now, geothermal potential in the area has not been developed due to a lack of knowledge about determining geothermal potential. For this reason, research on reservoir characteristics such as fluid type and reservoir temperature estimation is carried out. The method used in this research is the geochemical analysis of the fluid in the form of the percentage of fluid content and the calculation of the geotermometer. Fluid type analysis was determined based on plotting on ternary Na-K-Mg diagrams. While the reservoir temperature estimation is determined using the Na-K geotermometer equation. From the physical-chemical analysis of fluids in Bakan hot springs, it was found that the type of fluid in the Bakan area was immature water. Based on the estimated reservoir temperature calculation using a Na-K Geotermometer, the subsurface temperature ranges from 235 °C - 242 °C and includes a High-temperature reservoir.

Kata Kunci: Bolaang Mongondow, Tipe Fluida, Geotermometer

Keywords: Bolaang Mongondow, Fluid Type, Geotermometer

PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi panas yang tersimpan dalam batuan dan fluida yang terkandung dibawah permukaan bumi. Indonesia adalah Negara yang memiliki sumber daya panas bumi terbesar didunia, berbanding lurus dengan banyaknya gunung api. Secara alami sumber energi panas bumi umumnya berada bersamaan dengan keberadaan gunung api. Pada tahun 2006 sebanyak 256 lokasi lapangan panas bumi telah ditemukan. Seperti yang diketahui bahwa panas bumi dalam

bentuk uap air adalah sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk menggerakkan pembangkit listrik. Pada tahun 2018, Indonesia menghasilkan total energi listrik mencapai 2.058 MW atau baru 11% yang dimanfaatkan. Jumlah sebanyak itu sebagian besar berada di Sumatera, Jawa dan Sulawesi.

Sulawesi Utara merupakan daerah yang memiliki potensi panas bumi, ditandai dengan adanya Gunung Api aktif dan manifestasi panas bumi yang tersebar di beberapa wilayah seperti Bolaang Mongondow. Bolaang Mongondow

merupakan salah satu daerah yang memiliki Gunung Api aktif yaitu gunung api Ambang. Daerah sekitar gunung api Ambang juga memiliki manifestasi panas bumi yang muncul berupa mata air panas yang tepatnya berada di desa Bakan. Hal ini membuktikan bahwa adanya potensi panas bumi di daerah tersebut. Namun sampai saat ini potensi panas bumi yang berada pada daerah tersebut belum dikembangkan karena kurangnya pengetahuan tentang penentuan potensi panas bumi.

Dalam penentuan potensi panas bumi di suatu daerah diperlukan adanya penelitian pada manifestasi permukaan, salah satunya yaitu analisis geokimia manifestasi untuk mengetahui sifat fisik kimia fluida dan estimasi temperatur reservoir. penelitian ini ditunjukkan untuk mengetahui sifat fisik kimia fluida dan estimasi temperatur reservoir dari manifestasi panas bumi yang berada di daerah Bakan.

KAJIAN TEORI

Tipe Fluida Panasbumi

Penentuan tipe fluida dilakukan karena fluida dari sistem panasbumi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda dan dikontrol oleh proses pembentukannya. Dalam penentuan tipe fluida panasbumi, data kimia yang diperlukan adalah kandungan relatif dari klorida (Cl), bikarbonat, (HCO_3), dan sulfat (SO_4).

Air Klorida (*Chloride Waters*), Jenis air ini merupakan tipe fluida panasbumi yang ditemukan pada kebanyakan area dengan sistem temperatur tinggi. Jenis air ini sering disebut juga *alkaline neutral water* atau *brine water*. Daerah dengan tipe air ini dicirikan dengan area yang memiliki mata air panas yang mengalir dalam skala besar dengan konsentrasi Cl yang berasal dari reservoir. Dan mengindikasikan zona permeabel di lapangan. Ciri-ciri air klorida pada daerah keluaran adalah mata air panas, kolam air panas dan geyser. Pada tipe air ini, analisis temperatur menggunakan Geotermometer air dapat digunakan.

Air Sulfat (*Sulphate Waters*) Jenis air ini dikenal juga dengan air asam sulfat (*acid sulphate water*). Merupakan fluida yang terbentuk pada kedalaman dangkal dan terbentuk akibat dari proses oksidasi gas H_2S kepada air tanah di dekat permukaan (diatas muka air tanah). Tipe air ini ditemukan pada tingkat topografi tinggi yang menandakan

daerah tersebut dekat dengan zona *upflow*. Ciri-ciri dari air sulfat pada daerah keluaran selalu ditemukan mata air dengan kolam berasap atau kolam lumpur. Pada tipe air ini, sulfat (SO_4) adalah anion utama yang terbentuk akibat oksidasi dari kondensasi hidrogen sulfida (Nicholson, 1993).

Air Bikarbonat (*Bicarbonate Waters*) merupakan produk dari kondensasi gas karbon dioksida kedalam air tanah yang miskin oksigen (O_2). Jenis air ini mengindikasikan zona batas (*phreatic waters*) pada lapangan panasbumi. Hilangnya proton dari reaksi menghasilkan pH air yang dekat dengan netral. Bikarbonat (HCO_3) dan sodium (Na) adalah unsur kimia utama pada tipe air ini (Nicholson, 1993). Tipe air ini dicirikan dengan pH yang netral. Kemunculan tipe air ini dapat ditandai dengan munculnya endapan travertin (CaCO_3) di sekitar mata air bikarbonat. Analisis Geotermometer untuk mengetahui temperatur reservoir masih dapat dilakukan meskipun hasil yang didapat masih diragukan.

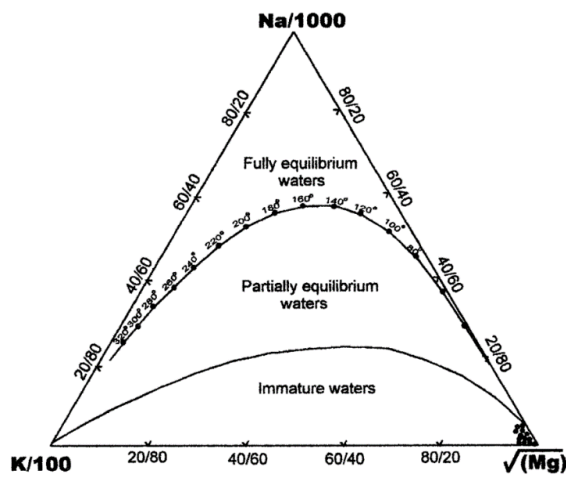
Geokimia

Analisis kimia bertujuan untuk mengelompokkan basis umum antara perbandingan dan klasifikasi dari cairan panas bumi, serta untuk memperoleh data kimia fluida dan gas dan unsur unsur lain yang terkandung dalam manifestasi sehingga dapat mengetahui suhu dan karakteristik reservoir. Dalam penelitian analisis geokimia dilakukan menggunakan Geotermometer.

Diagram Ternary Na-K-Mg

Dalam beberapa dekade terakhir, semakin banyak karya yang berfokus pada studi air panas dengan menggunakan pendekatan yang dijelaskan oleh Giggenbach (1988). Berdasarkan ketergantungan konstanta kesetimbangan pada temperatur, diagram Na-K-Mg merupakan kombinasi dari Geotermometer Na-K dan K-Mg. Pendekatan murni yang diusulkan oleh Giggenbach (1988) termasuk beberapa kendala untuk penerapannya yang berhasil. Meskipun demikian, diagram Na-K-Mg sering digunakan di luar kondisi batas penerapan. Untuk penggunaan yang tepat dari diagram, penjelasan rinci diberikan dan beberapa contoh pencampuran, pengenceran dan konsentrasi dibahas. Tipe fluida panas bumi pada diagram ternary terbagi atas tiga, yaitu:

- Full Equilibrium Waters adalah kondisi dimana fluida panas bumi berada dalam keadaan setimbang.
- Partial Equilibrium Waters adalah kondisi dimana fluida sebagian telah mengalami perubahan sehingga tidak sepenuhnya berada dalam keadaan setimbang.
- Immature Waters adalah kondisi dimana fluida tersebut sudah tidak dalam keadaan setimbang dan telah bercampur dengan air meteorik atau air tanah.



Gambar 1. Diagram Ternary Na-K-Mg Giggenbach

Geotermometer

Geotermometer adalah suatu persamaan yang menggunakan konsentrasi dari unsur kimia fluida panas bumi untuk memperkirakan temperatur reservoir dibawah permukaan (Saptadji, 2009).

Geotermometer Air

Faktor pertimbangan pemilihan Geotermometer antara lain adalah jenis manifestasi yang berupa air panas dengan temperatur mata air panas yang relatif tinggi, dan tipe air panas termasuk air klorida atau bikarbonat.

Geotermometer air dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, diantaranya:

- a) Sebagai dasar untuk melarutkan konsentrasi terlarut untuk sebuah komponen yang dikendalikan untuk melarutkan mineral (*quartz* Geotermometer).
- b) Sebagai dasar konsentrasi relatif dari dua komponen atau lebih yang

dikendalikan untuk reaksi perpindahan (Na/K Geotermometer).

Jenis-jenis Geotermometer yang dipakai sebagai parameter untuk menentukan suhu reservoir adalah sebagai berikut:

1. Geotermometer Silika (Fournier, 1977)

Geotermometer silika digunakan berdasarkan pada kelarutan berbagai jenis silika dalam air sebagai fungsi dari temperatur. Pada kebanyakan sistem panasbumi, fluida di kedalaman mengalami *equilibrium* dengan kuarsa. Untuk menentukan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan Geotermometer dengan kandungan SiO_2 dapat menggunakan persamaan diantaranya:

a. *Quartz-no steam loss*

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1390}{5,19 - \log S_i\text{O}_2} - 273 \quad t = 50 - 250^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

b. *Quartz-max steam loss*

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1522}{5,75 - \log S_i\text{O}_2} - 273 \quad t = 100 - 250^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

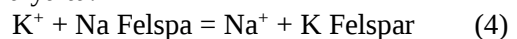
c. *Chalcedony*

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4,69 - \log S_i\text{O}_2} - 273 \quad t = 50 - 250^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Geotermometer kuarsa umumnya baik digunakan untuk reservoir bertemperatur $>150^{\circ}\text{C}$. Dibawah 150°C kandungan silika dikontrol oleh kalsedon (Simmons, 1998).

2. Geotermometer Na-K (Fournier, 1979 ; Giggenbach 1998)

Respon rasio konsentrasi Na terhadap K yang menurun terhadap meningkatnya temperatur fluida didasarkan pada reaksi pertukaran kation yang sangat bergantung pada suhu yaitu:



Geotermometer Na-K dapat diterapkan untuk reservoir air klorida dengan nilai $T > 180^{\circ}\text{C}$. Geotermometer ini punya keunggulan yaitu tidak banyak terpengaruh oleh *steam loss*. Namun, Geotermometer ini kurang bagus apabila diaplikasikan untuk $T < 100^{\circ}\text{C}$ (Simmons, 1998).

Untuk menentukan temperatur bawah permukaan menggunakan Geotermometer dengan kandungan Na-K dapat menggunakan persamaan diantaranya:

a. Na-K (Fourier)

$$t^{\circ}C = \frac{1217}{(\log Na/K) + 1,483} - 273 \quad t > 180^{\circ}C \quad (5)$$

b. Na-K (Giggenbach)

$$t^{\circ}C = \frac{1217}{(\log Na/K) + 1,75} - 273 \quad t > 120^{\circ}C \quad (6)$$

Dalam menggunakan persamaan Geotermometer Na/K sebaiknya digunakan dua persamaan agar dapat memperoleh gambaran besar rentangan perbedaannya. Apabila hanya menggunakan satu persamaan saja maka sebaiknya menggunakan formula dari Giggenbach (1988) karena menghasilkan tertinggi.

3. Geotermometer Na-K-Ca (Fournier & Trusdell, 1973).

Geotermometer ini diterapkan untuk air yang memiliki konsentrasi Ca tinggi. Geotermometer ini bersifat empiris dengan landasan teori yang belum dipahami secara sempurna (Giggenbach, 1988). Batasan teoritis untuk Geotermometer ini adalah *equilibrium* antara Na dan K Felspar serta konversi mineral kalsium alumino silikat (misalnya plagioklas) menjadi kalsit (Simmons, 1998).

Asumsi yang digunakan untuk membuat persamaan Geotermometer Na-K-Ca adalah sebagai berikut:

- Ada kelebihan silika (biasanya benar)
- Aluminium tetap berada pada fasa padat (biasanya benar karena fluida biasanya sedikit Al)

Rumus persamaan untuk Geotermometer ini adalah:

$$T^{\circ}C = [1647 / (\log (Na/K) + \beta (\log(\sqrt{Ca}/Na) + 2,06 + 2,47))] - 273,15 \quad (7)$$

Kisaran temperatur yang bagus untuk penggunaan Geotermometer Na-K-Ca adalah $120 - 200^{\circ}C$, selebihnya tidak terlalu bagus. Keterbatasan lainnya adalah temperatur sangat dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi karena *boiling* dan *dilution*. *Boiling* menyebabkan kehilangan CO_2 terjadi pengendapan kalsit, Ca keluar dari larutan, sehingga T hasil perhitungan terlalu tinggi (Simmons, 1998).

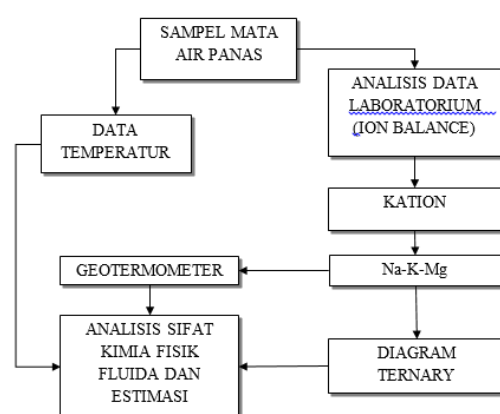
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Desa Bakan. Desa Bakan terletak di Kecamatan Lolayan

Kabupaten Bolaang Mongondow Provinsi Sulawesi Utara.

Teknik pengolahan dan analisis data dilakukan dengan mengolah data geokimia secara kuantitatif dan survei manifestasi panas bumi secara kualitatif. Setelah dilakukan pengumpulan serta pengambilan data, pengolahan data dilakukan dari *Solute* Geotermometer yaitu menggunakan data hasil dari analisis kimia air. *Solute* Geotermometer digunakan untuk menentukan suhu reservoir panas bumi yang didapat dari pertukaran ion-ion alkali dan alkali tanah (Na-K; Na-K-Ca; Na-K-Mg). Data konsentrasi unsur-unsur dari sampel air panas kemudian diolah dan diplot pada diagram *Ternary*. Diagram ini digunakan untuk mengetahui karakteristik fluida panas bumi. Diagram ini juga digunakan untuk menentukan Geotermometer yang sesuai pada daerah penelitian. Persamaan Geotermometer yang digunakan harus memperhatikan unsur dominan pada air panas tersebut. Yakni jika mata air panas pada daerah penelitian bersuhu tinggi ($180-260^{\circ}C$) maka geotermometer yang cocok adalah geotermometer silika. Untuk mata air panas yang memiliki kandungan Ca yang tinggi, sebaiknya menggunakan Geotermometer Na-K-Ca. Sedangkan jika mata air panas memiliki kandungan Ca yang rendah dan memiliki pH asam maka sebaiknya menggunakan Geotermometer Na-K.

Penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan prosedur penelitian seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel sumber mata air panas dilakukan di daerah Bakan. Temperatur permukaan mata air panas diukur menggunakan termometer dan pengukuran pH air

menggunakan kertas lakmus, serta GPS Coordinator untuk menentukan koordinat lokasi sampel mata air panas. Pada koordinat GPS menunjukan Y: 124.2936947 dan X: 0.5981035 dengan elevasi 296.9 m. Mata air panas ini memiliki temperatur permukaan 78°C dan suhu udara 26°C dengan nilai pH 5.8 yang dimana menunjukan bahwa mata air panas ini bersifat asam dan hampir mendekati netral. Mata air panas ini memiliki ciri fisik seperti: air sedikit keruh, tanah disekitar berwarna kuning kecoklatan, adanya endapan berwarna putih pada bebatuan disekitar, serta tercium bau belerang.

Kandungan ion sampel mata air panas Bakan di analisis secara spektrofotometri menggunakan alat spektrometri serapan atom (SSA). Pengukuran ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi Na, K dan Mg. Berdasarkan hasil analisis sampel mata air panas yang dilakukan di laboratorium WLN Manado, didapatkan hasil seperti pada tabel 1.

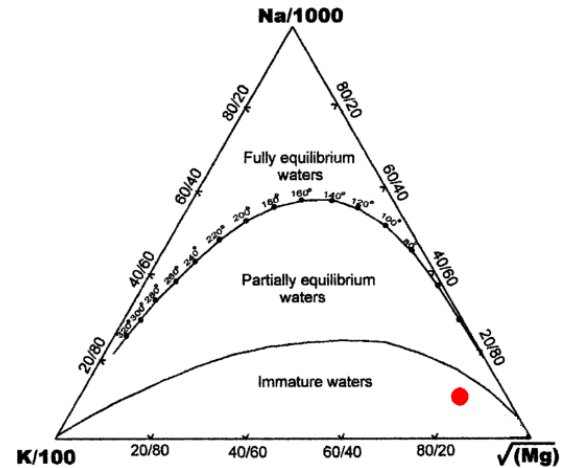
Tabel 1. Hasil Analisis Kandungan Ion
Komposisi Kimia Air

Lokasi	(Na)	(K)	(Mg)
	mg/L	mg/L	mg/L
Bakan	201	21.0	2.40

Berdasarkan hasil analisis laboratorium (didapatkan kandungan ion tertinggi yaitu Sodium dengan nilai 201 mg/L, diikuti oleh kandungan ion Potassium dengan nilai 21.0 dan kandungan ion Magnesium dengan nilai terendah yaitu 2.40 mg/L).

Penentuan tipe fluida dari sampel yang telah di uji dapat dilakukan dengan menggunakan diagram *Ternary* dimana dapat diketahui tipe air panas berdasarkan nilai ion yang terkandung pada sampel. Berdasarkan pada nilai kandungan Ion yang telah diketahui sebelumnya, didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.

Berdasarkan kandungan unsur kimia dan karakteristik air panas di daerah penelitian dipilih persamaan Geotermometer yang digunakan untuk menghitung perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir), yaitu dengan menggunakan persamaan Geotermometer Na-K.



Gambar 3. Diagram Ternary Daerah Panasbumi Bakan

Berdasarkan perhitungan estimasi temperatur reservoir dari sampel air panas dengan menggunakan geotermometer Na-K Giggenbach dan Fournier, maka didapatkan hasil seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Estimasi Temperatur
Reservoir

Geotermometer	Estimasi Temperatur
Na-K (Giggenbach)	235°C
Na-K (Fournier)	242°C

Untuk menentukan jenis fluida dibutuhkan data kandungan relatif dari Sodium (Na), Potassium (K), dan Magnesium (Mg). Data ini didapatkan dengan menghitung presentase unsur Na, K, dan Mg kemudian data tersebut diplot pada Diagram segitiga Na-K-Mg.

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan dan setelah nilai kandungannya dimasukan pada Diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 3) dapat diketahui bahwa mata air panas yang berada pada daerah Bakan, Kabupaten Bolaang Mongondow bertipe *immature water*. Hasil ini dapat dilihat pada diagram segitiga dimana sampel lebih condong kearah Mg menandakan bahwa telah terjadi reaksi yang signifikan antara fluida dengan batuan ketika fluida menuju ke permukaan. Menurut (Nicholson, 1993), Kandungan Mg pada fluida reservoir panas bumi relatif rendah yaitu sekitar 0,01-0,1 mg/kg sedangkan nilai Mg pada air tanah cenderung tinggi. Sampel air panas di wilayah penelitian termasuk dalam *immature water* (Gambar 3) dengan kandungan Mg yang relatif tinggi mengindikasikan bahwa

sampel air panas telah tercampur dengan air tanah. Nilai Na/K yang tinggi menunjukkan fluida berada pada zona outflow. Nilai N/K yang tinggi menandakan terjadinya later flow pada fluida sebelum naik ke permukaan, kemudian terjadi reaksi di permukaan berupa pengenceran dan pendinginan secara konduktif (Syabi dkk, 2019). Bedarkan teori geoinikator, dapat di pastikan bahwa fluida panas bumi tersebut berada pada zona outflow.

Bedasarkan hasil pengukuran pada lokasi penelitian, didapatkan temperatur permukaan berkisar 78°C. Temperatur permukaan tersebut merupakan temperatur bersuhu sedang untuk fasa air. Daerah *immature water* pada diagram segitiga Na-K-Mg menandakan bahwa fluida panas bumi telah tercampur dengan air permukaan yang relatif lebih dingin sehingga menurunkan temperatur fluida panas bumi yang sampai ke permukaan. Diagram segitiga pada (Gambar 3) menunjukkan konsentrasi Na yang relatif rendah. Dalam sistem panas bumi, Na adalah suatu unsur yang dikendalikan oleh interaksi fluida dengan batuan panas. Sistem panas bumi reservoir suhu tinggi (>250°C) mengandung Na dalam jumlah besar (Nicholson, 1993). Temperatur permukaan yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat temperatur fluida yang lebih tinggi di bawah permukaan, karena semakin dekat fluida dengan sumber panasnya maka semakin panas fluida tersebut (Nicholson, 1993).

Perhitungan estimasi temperatur reservoir dapat dilakukan dengan menggunakan Geotermometer. Dari hasil analisis geokimia sebelumnya, sampel berada pada daerah *immature water* membuat Geotermometer yang sesuai untuk digunakan adalah Geotermometer Na-K. Geotermometer silika cocok untuk air dengan suhu tinggi (180-260°C), tetapi tidak cocok untuk sistem panas bumi yang berada di wilayah Bolaang Mongondow karena air panas bumi di wilayah penelitian lebih rendah dari 180°C. Sedangkan untuk Geotermometer Na-K-Ca tidak sesuai untuk air panas bumi dengan pH asam, sehingga kurang cocok dengan sistem panas bumi di wilayah Bolaang Mongondow yang memiliki pH berkisar 2.24-6.04. Na⁺ dan K⁺ merupakan ion yang memiliki kesetimbangan yang lambat, sehingga pencampuran ion lain tidak akan memberikan pengaruh yang cukup besar, maka dari itu hasil dari Geotermometer Na-K dapat menggambarkan temperatur bawah permukaan

(Bujung et al, 2020). Kandungan Ca pada daerah penelitian termasuk rendah dan memiliki pH yang mendekati netral. Oleh karena itu, Geotermometer Na/K dapat digunakan untuk menghitung suhu reservoir pada daerah penelitian. Menurut (Wowa & Wiloso, 2017), Perhitungan menggunakan Geotermometer Na-K lebih cocok untuk air jenis bikarbonat dengan sifat air mendekati netral dan memiliki kandungan Ca yang rendah, sehingga pengukuran menggunakan Geotermometer Na/K akan mendapatkan hasil yang baik pada suhu 180°C hingga 350°C.

Hasil perhitungan menggunakan Geotermometer Na-K, didapatkan perkiraan temperatur reservoir seperti pada tabel 4.4. Dengan menggunakan persamaan Geotermometer Gignenbach didapatkan temperatur pada daerah Bakan sebesar 235°C, Sedangkan untuk persamaan Geotermometer Fournier didapatkan temperatur pada daerah Bakan sebesar 242°C. Dari hasil yang didapatkan, dapat diketahui bahwa temperatur reservoir ini termasuk reservoir bertipe suhu tinggi. Menurut Saptadji (Saptadji, 2009), sistem panas bumi bertemperatur tinggi dan sedang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik panas bumi. Akan tetapi, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memutuskan kelayakan daerah penelitian sebagai daerah pengembangan pembangkit listrik panas bumi.

Hasil dari perhitungan temperatur menggunakan Geotermometer Na-K bukan merupakan temperatur pasti dari reservoir pada daerah penelitian, melainkan merupakan temperatur kisaran yang nilainya mendekati sama. Temperatur reservoir pada daerah penelitian kemungkinan lebih tinggi atau lebih rendah dari hasil perhitungan, hal ini dikarenakan fluida panas bumi mengalir dekat permukaan, banyak unsur terlarut terutama unsur Na-K sehingga kandungan kimia yang terkandung pada sampel fluida berbeda dengan kandungan kimia fluida pada reservoir (Wowa & Wiloso, 2017).

KESIMPULAN

1. Mata air panas di daerah Bakan memiliki temperatur permukaan 78°C, suhu udara 26°C dan nilai pH 5.8 dengan ciri fisik seperti air sedikit keruh, tanah disekitar berwarna kuning kecoklatan, adanya endapan berwarna putih pada bebatuan disekitar, serta tercium bau belerang.

Diketahui mata air panas ini bertipe *immature water*.

2. Perhitungan temperatur reservoir menggunakan Geotermometer Na-K. Dengan menggunakan persamaan Geotermometer Na-K Giggenbach didapatkan temperatur pada daerah Bakan sebesar 235°C, Sedangkan dengan persamaan Geotermometer Na-K Fournier didapatkan temperatur pada daerah Bakan sebesar 242°C. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa temperatur reservoir ini termasuk reservoir bertipe suhu tinggi.

SABHA PRAMANA. Retrieved September 13-14, 2017

DAFTAR PUSTAKA

- Bujung, C. A., Dungus, F., & Yasin, K. C. (2020). Karakteristik Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Kimia Fisik Fluida Area Bolaang Mongondow Timur. *JSME (Jurnal Sains, Matematika, Dan Edukasi) FISIKA FMIPA UNIMA*, 8(1), 42-49.
- Fournier, R. O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5, 41-50.
- Fournier, R. O. (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geothermal resources council*, 221-224.
- Fournier, R. O., & Trusdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica Cosmochimica Acta* 37, 1255-1275.
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749-2765.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids*. The Robert Gordon University Aberdeen AB1 1HG, School of Applied Sciences, Scotland, United Kingdom.
- Saptadji, N. M. (2009). *Teknik Panas Bumi*. Bandung: ITB.
- Simmons, S. F. (1998). *Geochemistry Lecture Note*. Auckland: University of Auckland.
- Syabi, H. F., Haryanto, A. D., & CSSSA, B. Y. (2019, Februari). Deliniasi Zona Upflow/Outflow Panas Bumi Daerah Cibeber, Banten Menggunakan Analisis Densitas Kelurusan Dan Geoindikator. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 3(1), 51-57.
- Wowa, F., & Wiloso, D. A. (2017). Studi Geokimia Untuk Pendugaan Suhu Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Solute Geotermometer Di Desa Pablengan, Kecamatan Matesih, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Indonesia*, (pp. 1499-1532). GRHA