

## Analisis Potensi Panas Bumi sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif di Kabupaten Sumbawa

Romi Aprianto<sup>1\*</sup>, Indah Dwi Lestari<sup>2</sup>, Adnan<sup>3</sup>, dan <sup>4</sup>Permata Ayu Dwi Puspitasari

<sup>1,2,3</sup> Universitas Samawa Sumbawa Besar

<sup>4</sup>SMK BorSyA Telekomunikasi

\* E-mail: [romiaprianto.sumbawa@gmail.com](mailto:romiaprianto.sumbawa@gmail.com)

### Abstrak

Sumbawa memiliki potensi panas bumi yang belum dimanfaatkan, khususnya potensi sebagai energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi panas bumi di Sumbawa sebagai sumber energi listrik alternatif. Data yang diukur adalah data fisika air panas di 4 titik hot spring dan pengambilan sampel air untuk dianalisis kandungan kimianya untuk mendapatkan informasi mengenai tipe air panas, temperatur bawah permukaan, dan kedalaman reservoir. Hasil yang diperoleh adalah tipe air panasnya adalah air klorida, mengindikasikan bahwa air panas tersebut berasal dari aktivitas vulkanik atau tektonik dan indikator bahwasanya sistem panas bumi sangat baik dikembangkan sebagai energi listrik. Demikian juga suhu bawah permukaan air panas adalah termasuk temperatur sedang (210°C) dan tinggi (259°C), artinya sangat cocok menjadi sumber energi. Kedalaman reservoir sekitar 5 - 7 km, merupakan kedalaman reservoir yang baik untuk energi listrik. Kesimpulannya adalah bahwa panas bumi di Kabupaten Sumbawa memiliki potensi yang sangat baik dan cocok untuk dikembangkan menjadi sumber energi listrik alternatif. Namun, pengembangannya membutuhkan biaya yang sangat besar dan dukungan teknologi yang sangat canggih untuk mengekstraksi air panas dari reservoir. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mengestimasi daya listrik, durabilitas, feasibilitas, dan dampak lingkungan.

**Kata kunci:** panas bumi, reservoir panas bumi, tipe air panas, energi listrik alternatif

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, termasuk potensi energi panas bumi (*geothermal*). Energi panas bumi merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik alternatif. Kabupaten Sumbawa, yang terletak di Provinsi Nusa Tenggara Barat, memiliki potensi geothermal yang belum sepenuhnya dimanfaatkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi energi panas bumi di Kabupaten Sumbawa sebagai sumber energi listrik alternatif. Pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia masih terbatas, terutama di daerah-daerah yang memiliki potensi besar seperti Kabupaten Sumbawa. Hal ini disebabkan oleh kurangnya penelitian dan pemahaman mengenai karakteristik dan potensi sumber daya geothermal di daerah tersebut. Selain itu, ketergantungan pada energi fosil dan kebutuhan akan energi yang stabil dan berkelanjutan juga menjadi isu yang penting dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengidentifikasi dan menggali potensi energi panas bumi di Kabupaten Sumbawa, sehingga dapat menjadi dasar pengembangan energi listrik alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Untuk menganalisis potensi energi panas bumi di Kabupaten Sumbawa, penelitian ini akan menggunakan data fisika dan kimia air panas yang tersedia. Data ini digunakan untuk menentukan tipe air panas, suhu bawah permukaan, tipe reservoir panas bumi, dan gradien panas bumi. Analisis ini akan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai karakteristik dan potensi panas bumi di Kabupaten Sumbawa, serta membantu dalam pengambilan keputusan terkait pengembangan energi listrik alternatif.

Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang diperoleh dari panas yang terkandung di bawah permukaan bumi (Fridleifsson dkk., 2008). Sumber energi ini dihasilkan melalui proses radioaktivitas alami dan panas residu dari pembentukan bumi. Pemanfaatan energi panas bumi menjadi penting seiring dengan potensinya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Tujuan eksplorasi panas bumi adalah untuk mengidentifikasi dan mengeksplorasi potensi sumber daya panas bumi yang ada di suatu wilayah (Moeck, 2014). Eksplorasi melibatkan pengumpulan data geologi, geokimia, dan geofisika untuk menentukanasi dan karakteristik reservoir

panas bumi, serta potensi energi yang dapat dihasilkan.

Reservoir panas bumi memiliki karakteristik berdasarkan suhu air panas, yang telah menjadi fokus penelitian oleh Limberger dkk. (2018). Penelitian ini mengkategorikan reservoir panas bumi menjadi tiga kelompok utama berdasarkan suhu: rendah, sedang, dan tinggi, yang mempengaruhi teknologi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dan efisiensi konversi energi. Tipe air panas bumi berdasarkan kandungan kimia air telah menjadi subjek penelitian oleh Tassi dkk. (2010). Penelitian ini mengklasifikasikan air panas bumi menjadi beberapa kategori berdasarkan kandungan kimia, seperti air asam, air netral, dan air alkali, yang dipengaruhi oleh interaksi antara air dan batuan di reservoir panas bumi.

Perhitungan suhu bawah permukaan dengan geotermometer telah menjadi fokus penelitian oleh Reed dan Spycher (1984). Penelitian ini menunjukkan bagaimana geotermometer dapat digunakan untuk memperkirakan suhu reservoir panas bumi dan membantu dalam eksplorasi sumber daya panas bumi. Pemahaman mengenai sifat fisik dan kimia reservoir panas bumi dalam pengembangan sumber daya panas bumi sangat penting. Pengetahuan ini penting untuk menentukan teknologi yang paling sesuai untuk diekstraksi dan mengoptimalkan produksi energi. Dalam konteks eksplorasi, penelitian oleh Ussher dkk. (2000) menunjukkan bahwa teknik geofisika, seperti magnetotellurik dan seismik, dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan yang mengendalikan aliran fluida panas bumi. Teknik ini membantu dalam menargetkan lokasi pengeboran yang paling prospektif. Selain itu, analisis geokimia juga memiliki peranan yang sangat penting dalam eksplorasi panas bumi. Analisis ini melibatkan ukuran konsentrasi gas dan elemen pelacak dalam air panas bumi untuk memperkirakan suhu dan kondisi reservoir panas bumi.

Dalam hal karakteristik reservoir, penelitian oleh Grant dan Bixley (2011) menunjukkan bahwa permeabilitas batuan dan tekanan fluida panas bumi merupakan faktor penting yang mempengaruhi produksi energi panas bumi. Pemahaman mengenai faktor-faktor ini penting untuk mengoptimalkan desain dan operasi sistem panas bumi. Penelitian oleh Weber, dkk. (2017) menunjukkan bahwa geotermometer dapat digunakan untuk memperkirakan suhu maksimum yang dapat dicapai oleh fluida panas bumi dalam reservoir. Informasi ini penting untuk menentukan potensi energi panas bumi dan teknologi yang paling sesuai untuk diekstraksi. Dalam konteks teknologi, penelitian oleh DiPippo (2012) menunjukkan bahwa teknologi siklus Rankine organik (ORC) dan siklus Kalina dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber panas bumi dengan suhu rendah dan sedang. Teknologi ini memungkinkan pemanfaatan sumber daya panas bumi yang sebelum tidak ekonomis untuk dieksploitasi. Penelitian Shahniah dkk. (2010) menyoroti pentingnya pemantauan dan pengelolaan reservoir panas bumi untuk memastikan produksi energi yang berkelanjutan. Pantauan melibatkan pengukuran parameter seperti tekanan, suhu, dan konsentrasi gas dalam air panas bumi untuk mengidentifikasi perubahan dalam kondisi reservoir. Selain itu, penelitian oleh Zarrouk dkk. (2014) menunjukkan bahwa teknologi injeksi fluida panas bumi telah digunakan dapat membantu dalam pengelolaan reservoir panas bumi dan memperpanjang umur produksi energi. Teknologi ini melibatkan injeksi fluida panas bumi yang telah digunakan kembali ke dalam reservoir untuk menjaga tekanan dan suhu. Terakhir, penelitian oleh Lund dkk. (2016) menyoroti pentingnya penelitian dan pengembangan teknologi panas bumi untuk mencapai target energi terbarukan yang ambisius. Studi ini menekankan bahwa penelitian dan pengembangan teknologi panas bumi merupakan faktor penting dalam mencapai target energi terbarukan yang tepat sasaran. Pengembangan teknologi panas bumi juga mencakup peningkatan efisiensi dan keandalan sistem, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian oleh Asadi dkk. (2014). Penelitian ini mengevaluasi teknologi perpindahan panas dan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem panas bumi. Selain itu, penelitian oleh Huenges (2010) menyoroti pentingnya integrasi panas bumi dengan teknologi energi terbarukan lainnya, seperti energi matahari dan angin. Integrasi ini dapat meningkatkan keandalan dan fleksibilitas sistem energi terbarukan secara keseluruhan. Dalam konteks lingkungan, penelitian oleh Kristmannsdottir dan Armannsson (2003) menyoroti pentingnya mitigasi dampak lingkungan dari pengembangan panas bumi. Penelitian ini mengevaluasi strategi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan lainnya yang terkait dengan penggunaan panas bumi.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan *True Experiment*, berlokasi di Desa Simu, Kecamatan Maronge, Kabupaten Sumbawa dengan titik pengambilan data sebanyak 4 *hotsprings*. Data yang diambil adalah data karakteristik fisika *hotsprings* yang terdiri dari temperatur, debit air, warna, rasa, dan PH. Selain data fisika, data geokimia *hotsprings* juga diambil dalam bentuk pengambilan sampel air panas di 4 *hotspring* tersebut. Sampel air tersebut selanjutnya dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan kimia yang terkandung di dalamnya. Data fisika dan data geokimia air panas dari 4 *hotsprings* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

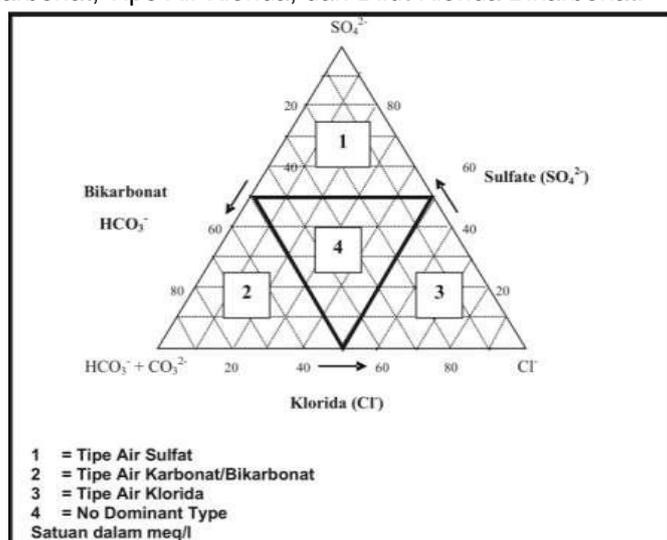
Tabel 1. Karakteristik Fisika Air Panas di 4 *Hotsprings*

| <i>Hotspring</i>    | A      | B      | C      | D      |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatur          | 42     | 41     | 33     | 33     |
| Debit air (L/detik) | 0,05   | 0,05   | 0,03   | 0,03   |
| Warna               | jernih | Jernih | jernih | jernih |
| Rasa                | tawar  | Tawar  | tawar  | tawar  |
| pH                  | 7,1    | 7      | 7,05   | 7,01   |

Tabel 2. Hasil analisis laboratorium tentang kandungan kimia air panas

| <i>Hotspring</i> | Kandungan Kimia Air Panas (mg/L) |           |         |        |        |         |         |
|------------------|----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|---------|---------|
|                  | Kalsium                          | Magnesium | Natrium | Kalium | Sulfat | Klorida | Amoniak |
| A                | 4,75                             | 0,12      | 150     | 11,26  | 43,6   | 382     | 0,39    |
| B                | 5,2                              | 0,2       | 147,5   | 18,1   | 29,5   | 130     | 1,05    |
| C                | 4,5                              | 0,15      | 156     | 17,7   | 38,3   | 199     | 1,45    |
| D                | 6,75                             | 0,13      | 145,7   | 20     | 34,27  | 175,5   | 1,05    |

Tahapan selanjutnya adalah menentukan tipe air panas yang didasarkan pada kandungan ion pada senyawa (berupa anion klorida, sulfat, dan bikarbonat) yang paling dominan dalam air panas melalui diagram trilinier (Gambar 1). Jumlah kandungan ion ini memiliki satuan milliequivalent per liter (mEq/L), sehingga harus dikonversi dari ppm dengan persamaan  $mEq = ppm / \text{berat ekuivalen}$ , dimana (berat ekuivalen (WE) = Mr komponen / valensi) Terdapat 4 tipe air panas (Huengens, 2010), yaitu Tipe Air Sulfat, Tipe Air Bikarbonat, Tipe Air Klorida, dan Dilut Klorida Bikarbonat.



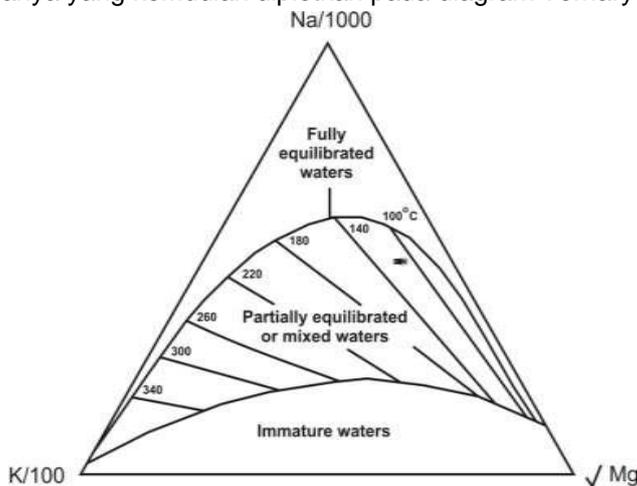
Gambar 1. Diagram Trilinier untuk menentukan tipe air panas (Huengens, 2010)

Setelah menentukan tipe air panas, selanjutnya adalah menghitung temperatur bawah permukaan menggunakan Geotermometer, yaitu Geotermometer Na-K dan Geotermometer Na-K-Mg. Geotermometer Na-K mengindikasikan temperature tinggi di bawah permukaan dengan melihat kandungan soidum dan potassium. Temperature bawah permukaan dengan Geotermometer Na-K

dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T^{\circ}\text{C} = \frac{1390}{\left[\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right) + 1.750\right]} - 273 \tag{1}$$

Geotermometer Na-K-Mg didasarkan pada perbandingan nilai setiap kandungan kimia terhadap total seluruh kandungan kimianya yang kemudian diplotkan pada diagram Ternary (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Ternary (Huengens, 2010)

Langkah selanjutnya adalah menentukan karakteristik reservoir panas bumi yang dikategorikan menjadi 4 berdasarkan *range* temperature bawah permukaan atau reservoirnya (Eliasson, 2004) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik reservoir panas bumi berdasarkan temperature bawah permukaan

| <b>Range Temperatur (°C)</b> | <b>Kategori</b>         |
|------------------------------|-------------------------|
| di atas 250                  | Temperatur tinggi       |
| 150 – 250                    | Temperatur Sedang       |
| 100 – 150                    | Temperatur didih rendah |
| 50 – 100                     | Temperatur rendah       |

Berdasarkan keempat kategori tersebut hanya temperature tinggi dan temperature sedang yang berpotensi dikembangkan menjadi sumber energi listrik. Tahapan selanjutnya adalah menentukan gradien panas bumi, yaitu perkiraan kedalaman reservoir panas bumi. Jika diasumsikan lokasi penelitian adalah daerah yang dialui oleh jalur vulkanik, maka setiap pertambahan kedalaman 100 m aka nada peningkatan temperature sekitar 2,5°C sampai 3°C.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil**

Tipe air panas di 4 titik ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tipe air panas 4 *hotsprings*

| Hotspring | Komponen         | ∑ Atom | Massa Atom | ∑ Massa Atom | Mr   | Valensi | WE | level (ppm) | mEq/L | ∑ Level (mEq/L) | % komponen | Tipe Air |         |
|-----------|------------------|--------|------------|--------------|------|---------|----|-------------|-------|-----------------|------------|----------|---------|
| A         | HCO <sub>3</sub> | H      | 1          | 1            | 1    | 61      | 1  | 61          | 0     | 0               | 11,669     | 0        | Klorida |
|           |                  | C      | 1          | 12           | 12   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           |                  | O      | 3          | 16           | 16   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | SO <sub>4</sub>  | S      | 1          | 32           | 32   | 96      | 2  | 48          | 43,6  | 0,908           |            | 7,784    |         |
|           |                  | O      | 4          | 16           | 64   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | Cl               | Cl     | 1          | 35,5         | 35,5 | 35,5    | 1  | 35,5        | 382   | 10,76           |            | 92,216   |         |
| B         | HCO <sub>3</sub> | H      | 1          | 1            | 1    | 61      | 1  | 61          | 0     | 0               | 4,277      | 0        | Klorida |
|           |                  | C      | 1          | 12           | 12   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           |                  | O      | 3          | 16           | 16   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | SO <sub>4</sub>  | S      | 1          | 32           | 32   | 96      | 2  | 48          | 29,5  | 0,615           |            | 14,371   |         |
|           |                  | O      | 4          | 16           | 64   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | Cl               | Cl     | 1          | 35,5         | 35,5 | 35,5    | 1  | 35,5        | 130   | 3,662           |            | 85,629   |         |
| C         | HCO <sub>3</sub> | H      | 1          | 1            | 1    | 61      | 1  | 61          | 0     | 0               | 6,404      | 0        | Klorida |
|           |                  | C      | 1          | 12           | 12   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           |                  | O      | 3          | 16           | 16   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | SO <sub>4</sub>  | S      | 1          | 32           | 32   | 96      | 2  | 48          | 38,3  | 0,798           |            | 12,461   |         |
|           |                  | O      | 4          | 16           | 64   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | Cl               | Cl     | 1          | 35,5         | 35,5 | 35,5    | 1  | 35,5        | 199   | 5,606           |            | 87,539   |         |
| D         | HCO <sub>3</sub> | H      | 1          | 1            | 1    | 61      | 1  | 61          | 0     | 0               | 5,658      | 0        | Klorida |
|           |                  | C      | 1          | 12           | 12   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           |                  | O      | 3          | 16           | 16   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | SO <sub>4</sub>  | S      | 1          | 32           | 32   | 96      | 2  | 48          | 34,27 | 0,714           |            | 12,619   |         |
|           |                  | O      | 4          | 16           | 64   |         |    |             |       |                 |            |          |         |
|           | Cl               | Cl     | 1          | 35,5         | 35,5 | 35,5    | 1  | 35,5        | 175,5 | 4,944           |            | 87,381   |         |

Berdasarkan nilai persentase kandungan ion yang terkandung dalam sampel air panas di 4 titik diketahui bahwa seluruh titik air panas (*hotsprings*) adalah air panas dengan tipe Klorida yang ditandai dengan tingginya kandungan ion klorida dibandingkan bikarbonat dan sulfat.

Perkiraan temperature bawah permukaan yang dihitung menggunakan geotermometer Na-K ditunjukkan pada Tabel 5. Dari keempat *hotsprings* hanya *hotspring* D yang masuk kategori temperature tinggi, sedangkan *hotspring* A,B, dan C termasuk kategori temperature sedang.

Tabel 5. Perkiraan temperatur bawah permukaan dengan Geotermometer Na-K

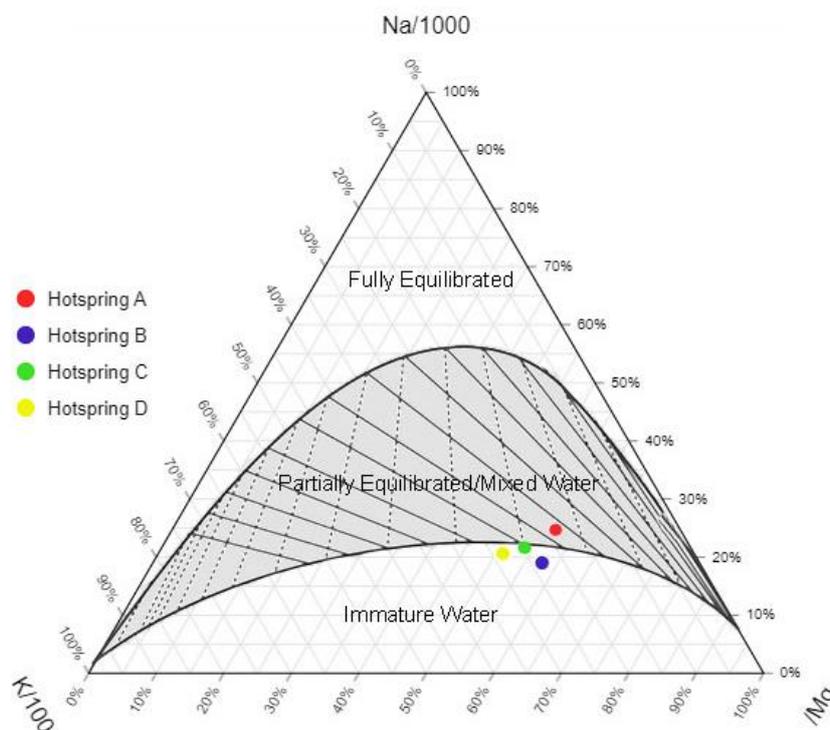
| Hotspring                       | A      | B      | C      | D      |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatur Bawah Permukaan (°C) | 210,55 | 249,34 | 242,74 | 259,07 |

Sedangkan temperature bawah permukaan menggunakan geotermometer Na-K-Mg ditandai dengan besarnya persentase komposisi Natrium, Kalium, dan Magnesium yang ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan persentase Natrium, Kalium, dan Magnesium.

| Hotspring                                 | A      | B      | C      | D      |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Na  | 150,00 | 147,50 | 156,00 | 145,70 |
| K   | 11,26  | 18,10  | 17,70  | 20,00  |
| Mg  | 0,12   | 0,20   | 0,15   | 0,13   |
| Na/1000                                   | 0,15   | 0,15   | 0,16   | 0,15   |
| K/100                                     | 0,11   | 0,18   | 0,18   | 0,20   |
| Mg <sup>1/2</sup>                         | 0,35   | 0,45   | 0,39   | 0,36   |
| Σ((Na/1000)+(K/100)+(Mg <sup>1/2</sup> )) | 0,61   | 0,78   | 0,72   | 0,71   |
| %Na                                       | 24,63  | 19,01  | 21,66  | 20,63  |
| %K  | 18,49  | 23,33  | 24,57  | 28,32  |
| %Mg <sup>1/2</sup>                        | 56,88  | 57,65  | 53,77  | 51,05  |

Hasil plotting kandungan Natrium, Kalium, dan Magnesium untuk mengetahui temperature bawah permukaan dapat dilihat pada Gambar 3. Diketahui bahwa *HotSpring* A dan B termasuk *Partially Equilibrated*, artinya terjadi interaksi antara air panas dengan lapisan batuan sebelum mencapai permukaan. Sedangkan *hotspring* C dan D adalah *Immature Water*. Berdasarkan diagram ternary tersebut diperoleh informasi bahwa sumber air panas di lokasi penelitian termasuk panas bumi dengan temperature sedang dan temperature tinggi.



Gambar 3 Diagram Ternary untuk memperkirakan suhu bawah permukaan

**Pembahasan**

Berdasarkan anailisi hasil diperoleh informasi bahwa tipe air panas di lokasi penelitian adalah tipe air klorida. Kandungan ion klorida yang tinggi ini menunjukkan bahwa air panas tersebut berasal dari sumber panas bumi yang berkaitan dengan aktivitas vulkanik atau tektonik. Air panas klorida biasanya terbentuk ketika air permukaan atau air hujan meresap ke dalam tanah dan mengalami pemanasan oleh panas dari dalam bumi. Selama proses ini, air tersebut mengambil berbagai mineral dan elemen dari batuan yang ditemuinya, termasuk klorida. Ketika air panas ini naik ke permukaan melalui retakan atau celah di batuan, ia membentuk mata air panas atau fumarol yang mengandung konsentrasi klorida yang tinggi. Tipe air panas klorida sering dianggap sebagai indikator yang baik untuk keberadaan sistem panas bumi yang berpotensi dapat dikembangkan untuk produksi energi listrik atau pemanfaatan langsung. Suhu dan komposisi kimia air panas klorida dapat memberikan informasi penting tentang suhu, kedalaman, dan karakteristik reservoir panas bumi yang mendasarinya.

Berdasarkan perhitungan dengan geotermometer Na-K diketahui bahwa suhu bawah permukaan air panas di lokasi penelitian sekitar 210,55°C sampai 259,07°C yang mengindikasikan bahwa reservoir panas bumi masuk kategori reservoir dengan temperatur sedang dan tinggi, artinya sesuai untuk dikembangkan menjadi sumber energi listrik. Perkiraan kedalaman reservoir yang diestimasi dari gradien panas bumi ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 7. Perkiraan kedalaman reservoir panas bumi

| <b>Hotspring</b>  | <b>A</b>    | <b>B</b>    | <b>C</b>    | <b>D</b>    |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Temperatur Permukaan (°C)</b>                          | 42          | 41          | 33          | 33          |
| <b>Temperatur Bawah Permukaan (°C)</b>                    | 210,55      | 249,34      | 242,74      | 259,07      |
| <b>Selisih Temperatur Permukaan &amp; Bawah Permukaan</b> | 168,55      | 208,34      | 209,74      | 226,07      |
| <b>Estimasi Kedalaman (km)</b>                            | <b>5,62</b> | <b>6,94</b> | <b>6,99</b> | <b>7,54</b> |

Reservoir dengan kisaran kedalaman 5-7 km dianggap dalam, dan kemungkinan cukup panas untuk menghasilkan listrik. Namun, permeabilitas batuan juga penting, karena menentukan seberapa mudah air panas atau uap dapat mengalir dari reservoir ke permukaan. Jika batuan tidak terlalu permeabel, akan sulit untuk mengekstraksi panas dari reservoir. Biaya pengembangan pembangkit listrik geotermal juga bergantung pada kedalaman reservoir. Reservoir yang lebih dalam lebih mahal untuk dibor, dan juga membutuhkan teknologi yang lebih canggih untuk mengekstraksi panas dari reservoir. Meskipun tantangannya berat, namun ada beberapa keuntungan dalam mengembangkan energi geotermal dari reservoir yang dalam. Reservoir yang dalam sering terletak di area dengan aliran panas yang tinggi, sehingga memiliki potensi besar untuk menghasilkan listrik. Selain itu, reservoir yang dalam juga tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca sehingga dapat menyediakan sumber daya listrik yang handal. Potensi reservoir panas bumi dengan kisaran kedalaman 5-7 km untuk mengembangkan sumber daya listrik adalah sangat baik. Namun, biaya pengembangan dan tantangan mengekstraksi panas dari reservoir perlu dipertimbangkan.

**PENUTUP**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah tipe air panas lokasi penelitian adalah tipe air klorida dengan temperature bawah permukaan berada pada kisaran temperature sedang dan tinggi, artinya panas bumi di lokasi penelitian sangat baik untuk dijadikan sebagai sumber energi listrik alternatif. Namun, reservoir yang berada pada kedalaman yang cukup jauh di bawah permukaan, yaitu sekitar 5 km – 7 km, membutuhkan biaya yang sangat mahal dan teknologi yang sangat canggih untuk mengekstraksi panas bumi dari reservoir ke permukaan. Oleh karena itu, saran dalam penelitian ini adalah melakukan pengukuran geofisika dan lainnya untuk mendapatkan informasi lebih detail tentang reservoir panas bumi, terutama yang terkait dengan potensi daya listrik, durabilitas, feasibilitas, dampak lingkungan, dan nilai ekonomi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asadi, M., Xie, G., Sunden, B. (2014). A review of heat transfer and pressure drop characteristics of single and two-phase microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 79, 34-53.
- DiPippo, R. (2012). *Geothermal power plants: Principles, applications, case studies and environmental impact*. Elsevier.
- Eliasson, ET.(2004). Power generation from high-enthalpy geothermal resources. *GHC Bulletin*, 26-34.
- Fridleifsson, I. B., Bertani, R., Huenges, E., Lund, J. W., Ragnarsson, A., & Rybach, L. (2008). The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. *IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008*, 59-80
- Grant, M. A. & Bixley, P.F. (2011). *Geothermal reservoir engineering*. Academic Press.
- Huenges, E. (2010). *Geothermal energy systems: Exploration, development, and utilization*. John Wiley & Sons.
- Kristmannsdottir, H. & Armannsson, H. (2003). Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics*, 32 (4-6), 451-461.\
- Limberger, J., Boxxem, T., Pluymaekers, M., Bruhn, D., Manzella, A., Calcagno, P., Beekman, F., Cloetingh, S., & Wees, J.D. (2018). Geothermal energy in deep aquifers: A global assessment of the resource base for direct heat utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 961-975.
- Lund, J. W. & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.
- Moeck, I. S. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867-882.
- Reed, M., & Spycher, N. (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48 (7), 1479-1492.
- Shahnia, F., Majumder, R., Ghosh, A., Ledwich, G., & Zare, F. (2010). Operation and control of a hybrid microgrid containing unbalanced and nonlinear loads. *Electric Power System Research*, 80 (8), 954-965.
- Tassi, F., Aguilera, F., Darrah, T., Vaselli, O., Capaccioni, B., Poredo, R.J., & Huertas, A.D. (2010). Fluid geochemistry of hydrothermal systems in the Arica-Parinacota, Tarapacá and Antofagasta regions (northern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192 (1-2), 1-15.
- Ussher, G., Harvey, C., Johnstone, R., & Anderson, E. (2000). Understanding the resistivities observed in geothermal systems. *Proceedings World Geothermal Congress*, 1915-1920.
- Weber, J., Ganz, B., Sanner, B., & Moeck, I. (2016). Geothermal energy use, country update for Germany. *Proceedings European Geothermal Congress*, 19-24 September.
- Zarrouk, S. J., & Moon, H. (2014). Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. *Geothermics*, 51, 142-153.