

# PENYELIDIKAN PENDAHULUAN GEOLOGI DAN GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI KABUPATEN MINAHASA UTARA DAN KOTA BITUNG - PROVINSI SULAWESI UTARA

Dede Iim Setiawan, Eddy Mulyadi, Herry Sundhoro

Kelompok Penyelidikan Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi

## SARI

*Daerah penyelidikan berada pada busur gunungapi yang terbentuk akibat tunjaman ganda Lajur Tunjaman Sulawesi Utara di sebelah utara dan Lajur Tunjaman Sangihe Timur di sebelah timur dan selatan. Tunjaman Sangihe Timur yang diduga aktif sejak awal Kuartar menghasilkan lajur gunungapi Kuartar di bagian timur lengan utara Sulawesi. Beberapa gunung aktif seperti Gunung Duasudara, Gunung Klabat, Gunung Tangkoko, dan Gunung Mahawu merupakan salah satu dari sekian banyak gunungapi aktif di daerah ini yang membentuk sebaran produk vulkanik muda. Kegiatan magmatisme dan vulkanisme muda menghasilkan batuan plutonik dan batuan gunung api muda sebagai pembawa panas (heat sources) dalam sistem panas bumi. Struktur geologi umumnya berupa kelurusan berarah baratlaut - tenggara, sesar normal dan mendatar yang berarah hampir utara - selatan dan baratdaya - timurlaut. Aktivitas tektonik muda membentuk sesar-sesar normal yang mengontrol pemunculan manifestasi panas bumi di permukaan.*

*Manifestasi panas bumi permukaan dicirikan oleh kehadiran mata air panas pada 9 lokasi berbeda dengan temperatur berkisar antara 34 - 90 °C dan batuan ubahan. Air panas yang muncul pada mata air panas Batuputih dan Tanggari merupakan air bertipe bikarbonat, berada di daerah immature waters, diperkirakan sebagai fluida panas yang dominan telah mengalami pencampuran dengan air permukaan atau air permukaan yang terpanaskan. Air panas Wineru bertipe klorida-sulfat dan Kaleosan bertipe klorida yang berada pada daerah partial equilibrium, diperkirakan mengandung fluida panas dari reservoir panas bumi dan mengalami sedikit pencampuran dengan air permukaan. Pendugaan temperatur reservoir sistem panas buminya termasuk dalam medium entalphy, yaitu berkisar antara 140 - 210°C. Batuan ubahan hanya terdapat di Daerah Kaleosan dengan tipe ubahan argilik, berisikan asosiasi mineral kaolinit, haloisit, dan monmorilonit.*

*Sistem panas bumi di daerah Minahasa Utara dan Bitung yang berada pada lingkungan vulkanik muda Gunung Duasudara, Gunung Tangkoko, Gunung Klabat, dan Gunung Mahawu, diduga berada pada sistem panas bumi di daerah tinggian (high terrain) yang berasosiasi dengan kegiatan magmatisme dan vulkanisme Kuartar. Daerah tempat munculnya manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan hanya merupakan daerah outflow saja.*

*Potensi panas bumi daerah Batuputih dan Kaleosan masing-masing sebesar 30 MWe, 10 MWe untuk daerah panas bumi Tanggari, dan 20 MWe untuk daerah panas bumi Wineru, pada kelas sumber daya spekulatif.*

*Kata kunci: sistem panas bumi, potensi panas bumi, bitung, minahasa utara.*

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya panas bumi yang besar, tercatat hingga tahun 2014, total potensi panas bumi di

Indonesia sebesar 28,9 Gwe (Badan Geologi, 2013). Salah satu wilayah yang memiliki potensi panas bumi yaitu wilayah Jawa Tengah bagian selatan, Provinsi

Jawa Tengah. Keberadaan potensi panas bumi di daerah ini ditandai dengan kehadiran manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas yang belum diselidiki lebih lanjut. Untuk mengetahui aspek kepanasbumian di daerah ini diperlukan penyelidikan dengan metode geologi dan geokimia.

Kegiatan penyelidikan dikonsentrasikan di sekitar pemunculan manifestasi air panas di Jawa Tengah bagian selatan sekaligus menginventarisasi manifestasi panas bumi lainnya yang terletak di wilayah sekitarnya (Gambar 1).

### **METODOLOGI**

Metodologi yang digunakan dalam penyelidikan ini berupa pengamatan dilapangan, pengambilan contoh, analisis laboratorium dan interpretasi data. Pengamatan dilapangan dilakukan untuk mengetahui sebaran batuan, gejala struktur, dan karakteristik fisik manifestasi panas bumi. Pengambilan contoh yang dilakukan berupa conto batuan, air dan batuan ubahan, untuk selanjutnya dilakukan analisis mineral ubahan dan geokimia air di laboratorium. Mineralogi penyusun batuan ubahan dideskripsi dengan menggunakan analisis petrografi yang didukung dengan analisis *Infrared Spectrometer*. Seluruh hasil analisis laboratorium diinterpretasi, agar pembentukan sistem panas bumi daerah Jawa Tengah bagian selatan dapat diketahui secara jelas.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### *Geologi*

Pulau Jawa memiliki rangkaian gunungapi yang berumur Oligosen-Miosen Tengah dan Pliosen-Kuarter. Pembentukan deretan gunungapi di Pulau Jawa berkaitan erat dengan penunjaman lempeng samudra Hindia pada akhir Paleogen. Wilayah Jawa Tengah Bagian Selatan tepatnya pada bagian selatan

wilayah tersebut, terdapat aktifitas vulkanisme berumur Tersier yang dikenal sebagai *old andesite formation* (Yuwono dkk, 2012). Salah satu produk kegiatan vulkanisme tersebut menghasilkan satuan breksi (Formasi Waturanda) yang ditemukan di daerah penyelidikan dan diperkirakan pengendapannya berada di lingkungan laut pada Miosen Awal. Manifestasi produk-produk *old andesite formation* ini sering kali ditemukan berasosiasi dengan sedimentasi karbonat. Hal ini dikarenakan pada Kala Oligosen-Miosen Tengah, gunung-gunung api merupakan gunung api bawah laut (Yuwono dkk., 2012). Kondisi morfologi gunung api bawah laut dapat berperan menjadi tempat yang ideal bagi pertumbuhan terumbu. Hal ini tercermin pada Kala Miosen Tengah, ketika vulkanisme regional mengalami penurunan aktivitas yang diikuti oleh peningkatan pertumbuhan terumbu (karbonat), diduga faktor tersebut yang mempengaruhi pengendapan satuan batulempung-batupasir dan satuan batupasir-batugamping di daerah penyelidikan, dimana kedua satuan tersebut merupakan bagian dari Formasi Panosogan yang bersifat karbonatan.

Di Pulau Jawa, pada umur Tersier bagian akhir aktivitas vulkanisme berlangsung kembali secara intensif (Soeria-Atmadja, 1994). Hal tersebut tercermin dengan diendapkannya satuan batupasir di daerah Cipari dan satuan breksi di daerah Krakal, yang memiliki karakteristik material-material yang bersifat vulkanik, seperti ditemukannya batupasir tuffaan di daerah Cipari. Satuan batupasir di daerah Cipari dan satuan breksi di daerah Krakal merupakan bagian dari Formasi Halang yang diduga diendapkan pada lingkungan laut. Aktivitas vulkanisme Pulau Jawa pada Kala Miosen Akhir-Pliosen, diperkirakan bergeser secara berangsur keutara sehingga busur magma tersier

atas berada disebelah utara dari jalur magmatisme periode Oligosen-Miosen Tengah. Pada masa tersebut, didaerah penyelidikan diendapkan satuan breksi di daerah Cipari yang merupakan bagian dari Formasi Kumbang. Pada Kala Miosen Akhir-Pliosen, aktivitas magmatisme tidak terekspresikan dalam bentuk munculnya gunungapi, tetapi berupa intrusi-intrusi seperti dike, sill dan *volkanik neck*, seperti yang dijumpai pada satuan kubah lava di daerah Panulisan.

Proses tektonik pada Kala Plio-Plistosen di Pulau Jawa, menyebabkan terjadinya pengangkatan sekaligus menghasilkan deformasi pada satuan batuan di daerah penyelidikan yang berupa struktur perlipatan dan sesar-sesar. Proses tektonik tersebut menyebabkan pola struktur tua kembali aktif(reaktivasi), sehingga menimbulkan pola-pola struktur tua pada satuan yang lebih muda. Keberadaan struktur geologi terutama sesar berperan dalam keluaran manifestasi air panas di daerah penyelidikan.

Pada zaman Kuartar, aktivitas magmatisme muncul sebagai kerucut-kerucut gunung api seperti yang terjadi di daerah penyelidikan tepatnya di daerah Panulisan, dimana dijumpai material breksi andesitis yang diperkirakan merupakan produk gunung api Sawal. Gunung api tersebut terletak diluar daerah penyelidikan. Pada periode Holosen-Resen telah terjadi ekspos batuan ke permukaan yang mengakibatkan proses erosi dan pengendapan endapan aluvial.

Struktur geologi yang dominan didaerah penyelidikan berupa sesar normal dengan arah utara - selatan dan sesar mendatar yang berarah hampir baratdaya – timurlaut serta antklin

#### *Manifestasi*

Manifestasi panas bumi permukaan di daerah penyelidikan berupa mata air

panas yang tersebar di lima lokasi dengan temperatur antara 36°C – 50,8°C, pada daerah Cipari, Krakal, Panulisan, Wadas Malang dan Wadas Lintang.

#### *Kimia Air*

Fluida panas yang berasal dari mata air panas Cipari-1, Cipari-2, Panulisan, Krakal-1 dan Krakal-2 bertipe klorida, diduga berasal langsung dari reservoir panas bumi. Hal ini didukung oleh kelarutan kation Na yang relatif tinggi ( 230,50 - 325,4 mg/l) dan konsentrasi ion Cl (376,85-390,47 mg/l). Konsentrasi kalsium (Ca) dalam fluida panas relatif tinggi, diikuti pula oleh konsentrasi sulfat ( $SO_4$ ) yang tinggi pula. Konsentrasi Ca dapat meningkat dengan adanya salinitas dan keasaman. Oleh karena itu, fluida panas Wineru diduga berasosiasi dengan keberadaan anhidrit. Air panas Tanggari 1,2,3 bertipe air bikarbonat dengan konsentrasi didominasi ion  $HCO_3$  yang diduga berasosiasi dengan naiknya fluida panas bumi yang mengandung gas terutama  $CO_2$  kemudian mengalami kondensasi di dalam akuifer dangkal. Sedangkan airpanas Kaleosan 1 dan 2 berada bertipe air klorida (Gambar 3) yang kemungkinan pemunculannya berasal langsung dari reservoir panas bumi yang didukung oleh kelarutan kation Na yang relatif tinggi ( 230,50 - 325,4 mg/l) dan konsentrasi ion Cl (376,85-390,47 mg/l). Air panas Batuputih, Pinasungkulan, dan Sarawet bertipe air bikarbonat dengan konsentrasi dominasi ion  $HCO_3$  (147,28-265,95 mg/l), diduga berasosiasi dengan naiknya fluida panas bumi yang mengandung gas terutama  $CO_2$  kemudian mengalami kondensasi di dalam akuifer dangkal.

Air panas Wineru dan Kaleosan berada pada zona kesetimbangan sebagian (*partial equilibrium*), diperkirakan mengalami kesetimbangan sebagian ketika terjadi interaksi antara fluida panas

dengan batuan (Gambar 4). Air panas Wineru diduga berhubungan dengan anhidrit, sedangkan air panas Kaleosan berasosiasi dengan gas-gas magmatik dan mengalami kesetimbangan di reservoir. Sedangkan air panas lainnya yang bertipe bikarbonat berada pada zona air permukaan (*immature waters*), yang mengindikasikan bahwa airnya merupakan air permukaan saja atau mengalami pengenceran oleh air permukaan yang dominan.

Air panas Kaleosan dan Tanggari memperlihatkan bahwa airnya banyak berinteraksi dengan batuan magmatik (Gambar 5), berada pada zona yang mendekati ke litium (Li). Air panas Tanggari diduga air permukaan yang mengandung unsur-unsur magmatik dan terpanaskan atau air panas dari kedalaman yang banyak terencerkan oleh air permukaan. Air panas Kaleosan konsisten memperlihatkan bahwa air panasnya berasal dari reservoir panas bumi. Air panas lainnya mengindikasikan bahwa airnya merupakan air permukaan saja yang terpanaskan.

#### *Isotop*

Hasil analisis isotop memperlihatkan adanya pengkayaan isotop Oksigen-18 dan Deuterium pada sampel air panas Kaleosan 1 dan 2 yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan kandungan isotop pada air dingin atau air meteoriknya, terlihat air panasnya relatif menjauh ke arah kanan garis air meteorik (*meteoric water line*). Air panas Batuputih, Pinasungkulan, dan Sarawet berada pada garis air meteorik, menunjukkan bahwa air panasnya adalah air permukaan saja. Sedangkan air panas Tanggari dan Wineru yang berada di sebelah kiri garis air meteorik diduga air panasnya berasal dari air formasi (Gambar 6).

#### *Kimia Tanah dan Udara Tanah*

Distribusi temperatur, pH tanah, dan CO<sub>2</sub> udara tanah tidak memperlihatkan hubungan yang signifikan dengan keberadaan sistem panas bumi di daerah penyelidikan, kecuali distribusi konsentrasi Hg di sekitar mata air panas Kaleosan yang memperlihatkan anomali signifikan. Hal ini diduga berhubungan dengan keberadaan batuan ubahan di sekitar lokasi mata air panas Kaleosan.

#### *Geotermometri*

Manifestasi panas bumi di daerah panas bumi Batuputih, Rumesu, dan Tanggari, umumnya berupa mata air bertemperatur 34 - 43°C, air panas umumnya termasuk tipe air bikarbonat dengan konsentrasi klorida dan silika rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pembentukan air panas tersebut pada temperatur tidak begitu tinggi, sehingga geotermometer fluida panas yang mungkin dapat diaplikasikan adalah geotermometer SiO<sub>2</sub>. Sehingga temperatur reservoir sistem panas bumi Batuputih dan Tanggari diperkirakan sebesar 140°C. Daerah panas bumi Kaleosan yang bertipe air klorida dan memiliki konsentrasi Cl cukup tinggi, terletak pada daerah *partial equilibrium*, dan konsentrasi litium (Li) yang tinggi dibandingkan boronnya (B), konsentrasi Na yang tinggi, maka temperatur reservoirnya sekitar 210°C dengan geotermometer NaK. Kehadiran sinter silika yang cukup signifikan di sekitar mata air panas Kaleosan menambah tingkat keyakinan bahwa temperatur reservoir sistem panas buminya bertemperatur tinggi. Temperatur reservoir sistem panas bumi Wineru yang bertipe klorida-sulfat, berada di *partial equilibrium*, mengandung Na dan Ca yang tinggi, diperkirakan sebesar 160°C berdasarkan geotermometer NaKCa.

#### **SISTEM PANAS BUMI**

Sistem panas bumi di daerah Minahasa Utara dan Bitung yang berada pada lingkungan vulkanik muda Gunung Duasudara, Gunung Tangkoko, Gunung Klabat, dan Gunung Mahawu, diduga berasosiasi dengan sistem panas bumi vulkanik. Oleh karena itu, yang berperan sebagai sumber panas (*heat sources*)

dalam sistem panas bumi di daerah ini kemungkinan adalah batuan vulkanik dan batuan plutonik muda yang terbentuk pada periode yang sama dengan terbentuknya deretan gunungapi aktif tersebut. Kehadiran manifestasi panas bumi permukaan di bagian lereng beberapa gunung muda tersebut memberikan gambaran umum bahwa sistem panas buminya berada pada daerah tinggian (*high terrain*).

Kehadiran manifestasi batuan ubahan menjadi indikasi bahwa sistem panas bumi di daerah ini memiliki batuan penudung berupa lapisan kedap air yang berasal dari lempung hasil alterasi batuan. Dengan temperatur yang tinggi dan diduga berkaitan dengan fluida relatif sedikit asam akibat kandungan gas magmatik seperti di Kaleosan, maka proses ubahan batuan sangat intensif.

Fluida panas yang muncul pada daerah panas bumi Batuputih, Rumesu, dan Tanggari merupakan air bertipe bikarbonat dan berada di daerah *immature waters*, diperkirakan sebagai fluida panas bumi yang banyak tercampur air permukaan atau air permukaan yang terpanaskan. Fluida panas dari mata air panas Kaleosan bertipe klorida, bersama fluida panas Wineru berada pada daerah *partial equilibrium*, diperkirakan mengandung fluida panas dari reservoir panas bumi, meskipun terdapat indikasi sedikit mengalami pencampuran dengan air permukaan.

Sistem panas bumi yang berada pada deretan pegunungan dengan kondisi topografi tinggian, maka daerah ini berada pada zona resapan air hujan. Hal ini didukung pula dengan kondisi sistem kekar serta sesar akibat proses tektonik yang intensif, maka daerah ini memiliki permeabilitas yang baik.

#### **POTENSI ENERGI PANAS BUMI**

Perhitungan potensi panas bumi didasarkan pada luas daerah prospek dan temperatur fluida bawah permukaan. Temperatur bawah permukaan digunakan untuk mengasumsikan nilai rapat daya ( $\text{MWe}/\text{km}^2$ ), sedangkan luas prospek dapat diperkirakan dari penyebaran

manifestasi permukaan dan pelamparan struktur geologinya secara global.

Dengan temperatur reservoir sebesar  $140^\circ\text{C}$ , luas daerah prospek  $3\text{ km}^2$ , dan daya per satuan luas sebesar  $10\text{ MWe}/\text{km}^2$ , maka potensi panas bumi daerah Batuputih adalah sebesar  $30\text{ MWe}$ . Daerah panas bumi Tanggari yang memiliki temperatur reservoir sebesar  $140^\circ\text{C}$ , luas daerah prospek  $1\text{ km}^2$ , dan daya per satuan luas sebesar  $10\text{ MWe}/\text{km}^2$ , maka potensi panas buminya masing-masing adalah sebesar  $10\text{ MWe}$ . Daerah panas bumi Kaleosan yang memiliki temperatur reservoir sebesar  $210^\circ\text{C}$ , luas daerah prospek  $3\text{ km}^2$ , dan daya per satuan luas sebesar  $10\text{ MWe}/\text{km}^2$ , maka potensi panas buminya sebesar  $30\text{ MWe}$ . Sedangkan daerah panas bumi Wineru dengan temperatur reservoir sebesar  $170^\circ\text{C}$ , luas daerah prospek  $2\text{ km}^2$ , dan daya per satuan luas sebesar  $10\text{ MWe}/\text{km}^2$ , maka potensi panas buminya sebesar  $20\text{ MWe}$ . Semua potensi tersebut adalah pada kelas sumber daya spekulatif.

#### **DISKUSI**

Dalam sistem panas bumi vulkanik yang berada pada daerah tinggian (*high terrain*), idealnya terdapat beberapa jenis manifestasi permukaan seperti fumarola, solfatara, mata air panas bertemperatur tinggi sebagai indikasi daerah *upflow*, namun kenyataannya baru ditemukan manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas saja dan diperkirakan hanya sebagai indikasi daerah *outflow*.

Idealnya, dengan dukungan kegiatan magmatisme muda (Kuartar) sebagai generasi magma pembentuk sumber panas (*heat source*), intensifnya aktivitas tektonik yang memperkaya pembentukan daerah-daerah berpermeabilitas dan berporositas baik, dan sistem hidrologi yang baik, daerah penyelidikan diharapkan dapat memberikan suatu sistem panas bumi dengan potensi yang cukup besar.

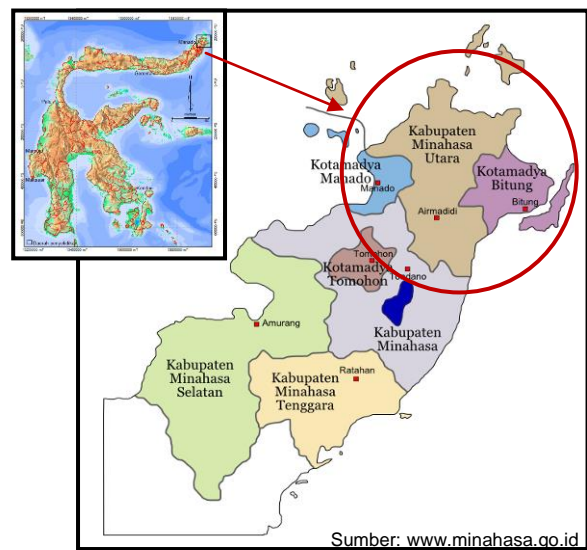
#### **KESIMPULAN**

Sistem panas bumi di daerah Minahasa Utara dan Bitung berada pada lingkungan

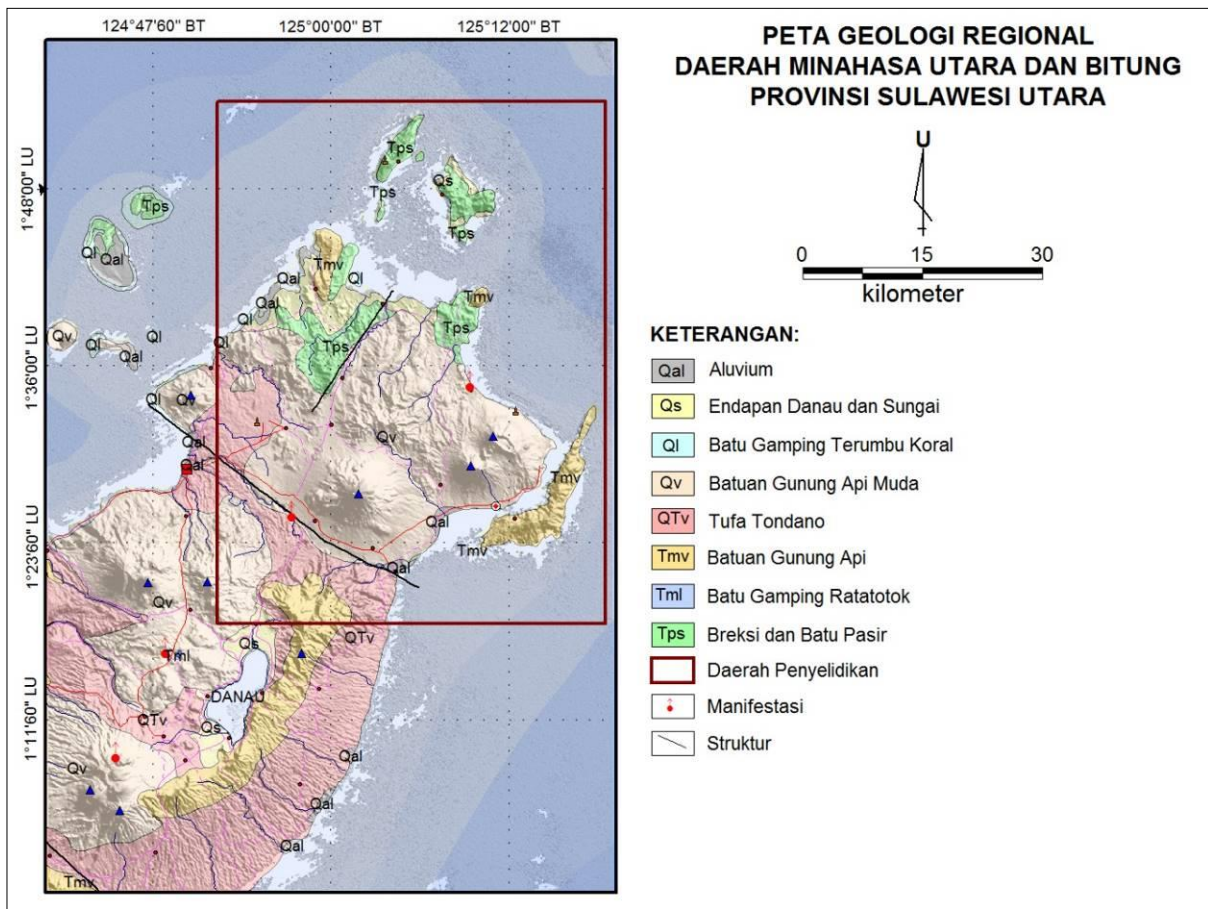
vulkanik muda Gunung Dudasudara, Gunung Tangkoko, Gunung Klabat, dan Gunung Mahawu, berada pada model sistem panas bumi pada daerah tinggian (*high terrain*) yang berasosiasi dengan kegiatan magmatisme dan vulkanisme Kuartar. Intensitas aktivitas tektonik yang intensif telah memperkaya pembentukan daerah-daerah berpermeabilitas dan berporositas baik. Sistem hidrologi terutama untuk daerah resapan sebagai suplai fluida ke dalam sistem panas buminya juga baik. Kondisi ini semestinya mendukung untuk terbentuknya sistem panas bumi yang memiliki potensi yang besar. Oleh karena itu perlu dilakukan penyelidikan lanjutan yang lebih rinci dengan metode yang lebih baik.

### DAFTAR PUSTAKA

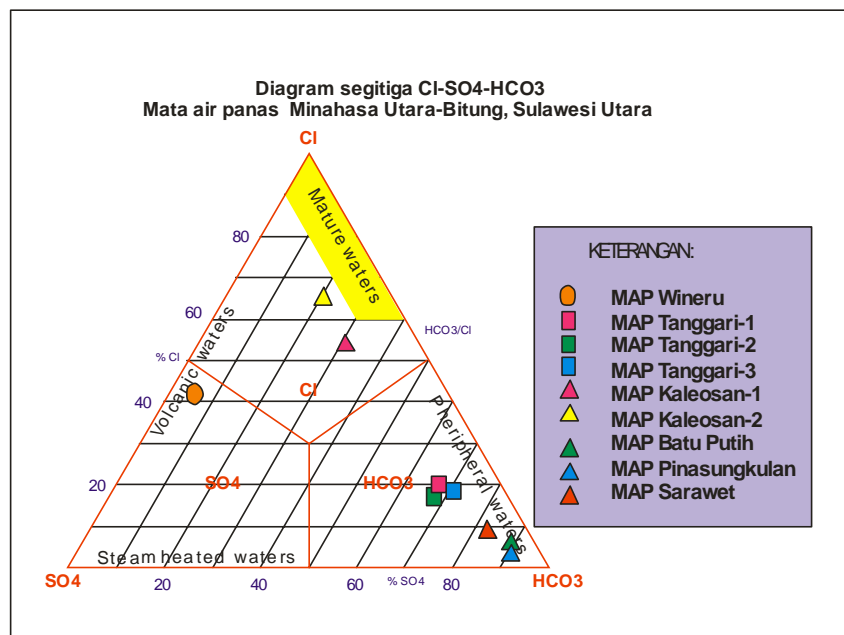
- Effendi, dkk. 1997. Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Fournier, R.O., 1981. *Application of Water Geochemistry Geothermal Exploration and Reservoir Engineering, Geothermal System: Principles and Case Histories*. John Willey & Sons. New York.
- Giggenbach, W.F., 1988. *Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg-Ca Geo- Indicators*. *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.
- Lawless, J., 1995. *Guidebook: An Introduction to Geothermal System*. Short course. Unocal Ltd. Jakarta.
- Mahon K., Ellis, A.J., 1977. *Chemistry and Geothermal System*. Academic Press Inc. Orlando.
- Simandjuntak, 1992. *An Outline of Tectonics of the Indonesian Region*. Pusat Penelitian dan
- Wohletz, K. and Heiken, G., 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press, Berkeley



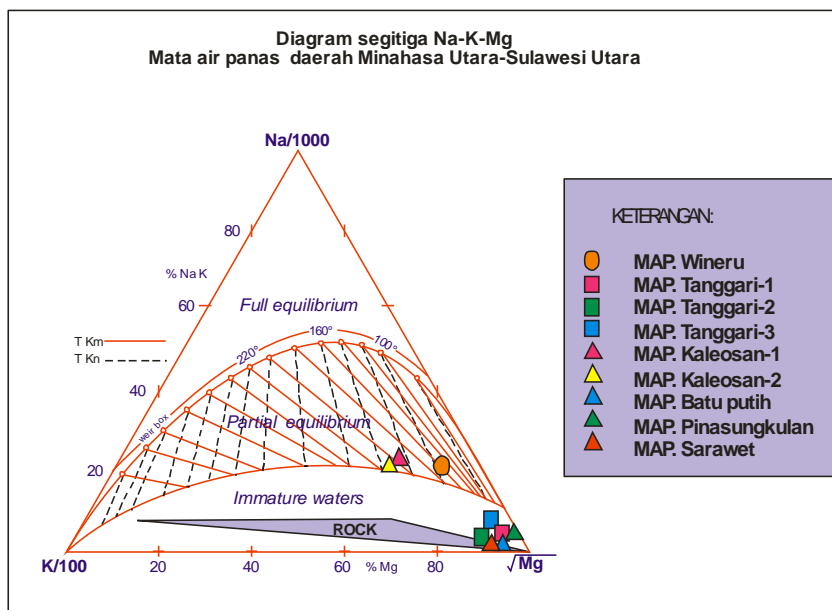
Gambar 1 Peta lokasi daerah penyelidikan



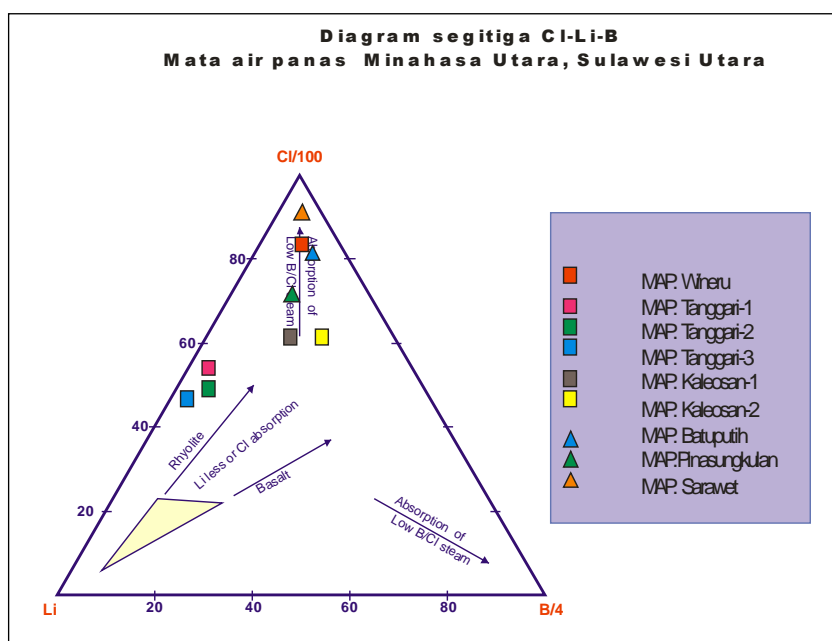
**Gambar 2** Peta geologi regional daerah Minahasa Utara dan Bitung (Effendi dan Bawono, 1997)



**Gambar 3** Diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> air panas

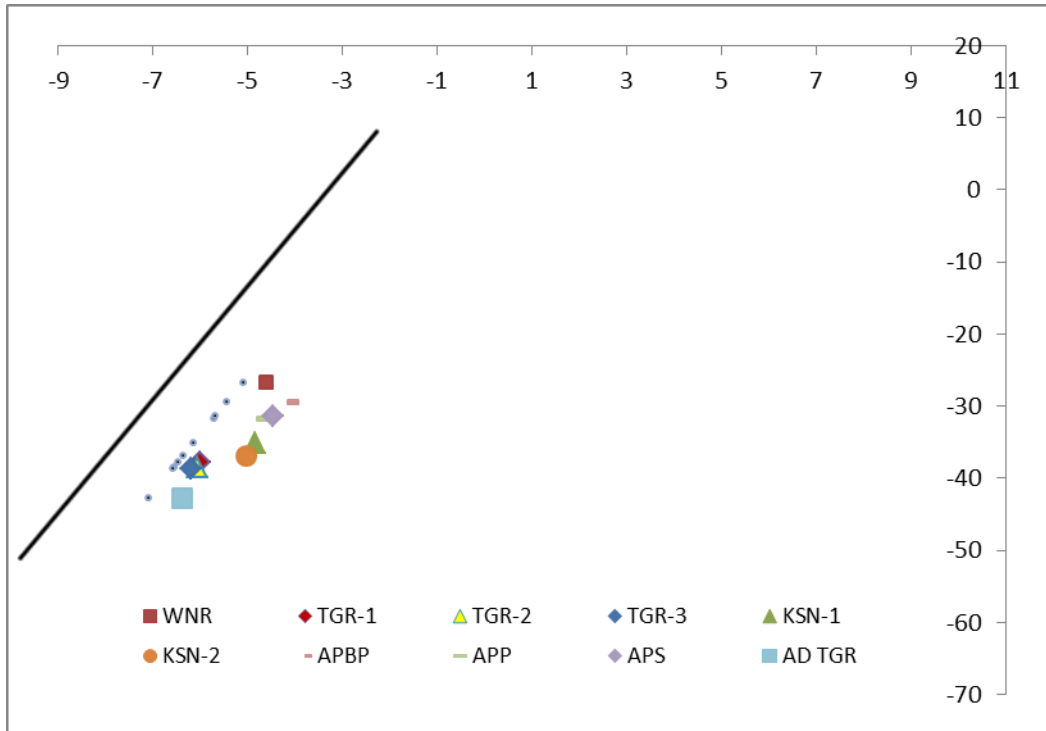


**Gambar 4** Diagram segitiga Na-K-Mg air panas



**Gambar 5** Diagram segitiga Cl-Li-B air panas





**Gambar 6** Diagram isotop air Daerah Minahasa Utara dan Bitung