

Survei Terpadu Geologi Daerah Panas Bumi Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara

Andri Eko Ari Wibowo¹⁾ dan Dikdik Risdianto¹⁾
¹⁾KP.Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Geologi

SARI

Sistem panas bumi kalawat berada pada tatanan tektonik jalur magmatik Sulawesi bagian Utara dengan lingkungan vulkanik. Secara geologi, batuan di daerah survei didominasi oleh batuan Vulkanik. Pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut erat kaitannya dengan aktivitas tektonik yang searah dengan pola Subduksi Sulawesi Utara.

Manifestasi berupa air panas dengan temperatur 88,7 °C, pH netral, dan alterasi argilik-argilik lanjut. Sumber panas berasal dari aktivitas G.Mahawu yang berumur Kuartar. Batuan penutup berasal dari proses alterasi hidrotermal yang menghasilkan mineral lempung yang tersebar di sekitar air panas. Permeabilitas batuan reservoir terbentuk pada batuan piroklastik Tondano. Fluida panas pada sistem panas bumi Kalawat bertipe bikarbonat dan berada pada zona *partial equilibrium*. Temperatur reservoir diambil melalui perhitungan geotermometer NaK (200°C), termasuk entalpi sedang.

Daerah prospek panas bumi berdasarkan data anomali CO₂, Hg dan pola struktur geologi, mencapai luas 12 km² di sekitar airpanas Kaleosan. Total potensi sumber daya hipotetis adalah 51 MWe.

Kata kunci : panas bumi, potensi, Kalawat, Sulawesi Utara

Pendahuluan

Indonesia mempunyai kebijakan peningkatan keamanan pasokan energi sebagaimana tercantum dalam Perpres Nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, yang dituangkan dalam *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2010 – 2025, bahwa peran panas bumi sebesar 6,3% dalam komposisi bauran energi nasional pada tahun 2025.

Realisasi dari kebijakan tersebut adalah pemerintah melakukan kegiatan penyelidikan terpadu panas bumi untuk mencari daerah panas bumi prospek yang dapat dikembangkan sebagai

tenaga listrik. Salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi tersebut adalah Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. 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.

Penyelidikan ini dimaksudkan untuk mengumpulkan data geosains dengan mengetahui karakteristik batuan dan fluida dalam sistem panas bumi daerah

Kalawat di Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara dengan tujuan untuk mengetahui sebaran prospek (vertikal, horizontal) serta besarnya potensi panas bumi pada kelas sumber daya.

Daerah panas bumi Kalawat secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Kelawat dengan koordinat $124^{\circ} 53' 58''$ - $125^{\circ} 4' 49''$ BT dan $1^{\circ} 22' 24''$ - $1^{\circ} 33' 11''$ LS atau pada posisi 711344 – 731467 mE dan 151900 – 171774 mN pada sistem koordinat UTM zona 51 belahan bumi bagian utara (Gambar 1).

Metodologi

Metode geologi digunakan untuk mengetahui sebaran batuan, mengenali gejala tektonik, dan karakteristik fisik manifestasi panas bumi. Pemetaan morfologi, satuan batuan, struktur geologi dan manifestasi panas bumi, dimaksudkan untuk lebih mengetahui hubungan antara semua parameter geologi yang berperan dalam pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut.

Metode geokimia dilakukan untuk mengetahui karakteristik fluida dan kondisi reservoir panas bumi. Karakteristik beberapa parameter diperoleh dari jenis manifestasi, konsentrasi senyawa kimia terlarut dan terabsorpsi dalam fluida panas yang

terkandung dalam sampel air, dan anomali distribusi horizontal pada tanah dan udara tanah pada kedalaman satu meter sebagai indikasi sumber daya panas bumi. Parameter yang digunakan meliputi sifat fisika dan kimia manifestasi, data hasil analisis kimia air, serta Hg tanah dan CO₂ udara tanah.

Hasil Penyelidikan

Geologi Regional

Pulau Sulawesi berada pada daerah aktif margin dari Lempeng Eurasia yang mengalami empat aktivitas tektonik utama, yaitu pada pertengahan Zaman Kapur, Oligosen Akhir, Miosen Tengah, dan pertengahan Pliosen yang masing-masing berhubungan dengan perkembangan 3 blok (Blok Banda, Blok Tukang Besi, dan Blok Banggai Sula) terhadap daerah aktif margin dari bagian timur Lempeng Eurasia (Villeneuve, dkk., 2001). Aktivitas tektonik utama yang berhubungan dengan daerah penyelidikan adalah aktivitas tektonik yang terjadi pada Kala Oligosen, yaitu berupa peristiwa tumbukan (*collision*) antara blok dari bagian Lempeng Eurasia dengan Blok Banda yang ada di bagian selatannya. Tatanan tektonik tersebut mengakibatkan Pulau Sulawesi sebagai kumpulan batuan dari busur kepulauan, batuan bancuh, ofiolit, dan bongkah

dari mikrokontinen yang terbawa bersama proses penunjaman, tubrukan, serta proses tektonik lainnya (van Leeuwen, 1994).

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi (Effendi dan Bawono, 1997), secara umum geologi regional daerah penyelidikan terdiri dari batuan sedimen, endapan permukaan, dan batuan gunungapi, terbentuk mulai Miosen hingga Holosen.

Struktur geologi di daerah penyelidikan berupa sesar normal yang dominan berarah barat laut-tenggara dan sebagian kecil mempunyai arah timur laut-baratdaya. Kabupaten Minahasa Utara dan Bitung berada di bagian timur dari lengan utara Sulawesi yang merupakan busur gunungapi yang terbentuk karena adanya tunjaman ganda, yaitu Lajur Tunjaman Sulawesi Utara di sebelah utara lengan utara Sulawesi dan Lajur Tunjaman Sangihe Timur di sebelah timur dan selatan lengan utara (Simandjuntak dalam Effendi dan Bawono, 1997). Penunjaman tersebut mengakibatkan terjadinya kegiatan magmatisme dan kegunungapian yang menghasilkan batuan plutonik dan gunungapi yang tersebar luas. Tunjaman Sulawesi Utara diduga aktif sejak awal Tersier dan menghasilkan gunungapi Tersier yang terbentang dari sekitar Tolitoli sampai dekat Manado. Sedang

Tunjaman Sangihe Timur diduga aktif sejak awal Kuartar dan menghasilkan Lajur gunungapi Kuartar di bagian timur lengan utara Sulawesi dan menerus ke arah baratdaya hingga daerah G. Una-una.

Geologi

Geomorfologi di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tujuh satuan, yaitu Satuan Geomorfologi Puncak G.Klabat, Satuan Geomorfologi Tubuh G.Klabat, Satuan Morfologi Kaki G.Klabat, Satuan Geomorfologi Tubuh Parasit G.Klabat, Satuan Morfologi Tubuh Tua G.Klabat, Satuan Tubuh G.Taedai, Satuan Geomorfologi Tondano.

Secara umum daerah penyelidikan didominasi oleh lava andesit basal, aliran piroklastik dan jatuhan piroklastik dengan komposisi *scoria* dan batuapung (*pumice*) yang berumur Tersier hingga Kuartar, dan dikelompokkan menjadi 20 satuan batuan (Gambar 2), yaitu satuan batuan Vulkanik Tua Tondano, Lava Taedei, Silisifikasi, Lava Pra-Klabat, Lava Klabat 1, Lava Klabat 2, Lava Klabat 3, Lava Klabat 4, Lava Klabat 5, Lava Klabat 6, Lava Klabat 7, Lava Klabat 8, Lava Klabat 9, Aliran Piroklastik Klabat 1, Aliran Piroklastik Klabat 2, Aliran Piroklastik Klabat 3, Lahar Klabat, Lava Parasitik Sunedi,

Lava Parasitik Timanapah, Jatuhan Piroklastik Klabat.

Struktur Geologi

Struktur geologi yang berkembang di daerah survei menunjukkan arah tegasan utama baratlaut-tenggara dan utara-selatan yang dikontrol oleh subduksi di bagian utara Sulawesi Utara yang menunjam ke arah selatan serta subduksi di bagian tenggara Sulawesi Utara yang menunjam ke arah barat laut. Sesar yang berarah baratlaut – tenggara, ditunjukkan oleh sesar Kuwil, sesar Talawaan dan sesar Taedei. Sesar Kuwil dan Taedei diduga merupakan sesar basement yang membentuk depresi Klabat. Sesar yang berarah berarah baratdaya – timurlaut ditunjukkan oleh sesar Dimembe, Sampiri, Kakidian, Sawangan, Makarang, Kumersot. Sesar ini merupakan antitetik dan pasangan sesar basement yang berarah sebaliknya. Sesar lain berarah utara – selatan ditunjukkan oleh sesar Timampah yang juga memfasilitasi munculnya kawah G.Klabat. Sesar vulkanik membentuk pola ring fracture semi radial yang menghubungkan antara tubuh tua dari produk Klabat lama dan juga kawah G.Klabat.

Analisis Fracture Fault Density

Hasil analisis *Fracture and Fault Density* (Gambar 3) yang ditarik dari Citra dan peta SRTM menunjukkan beberapa wilayah dengan nilai anomali yang cukup tinggi dan ditandai dengan warna kuning kemerahan di sekitar air panas dan juga di bagian barat G.Klabat. hal tersebut mencerminkan kemungkinan terbentuknya daerah permeabel yang dapat meloloskan air permukaan kedalam sistem akuifer dalam untuk mensuplai sistem hidrotermal di daerah tersebut.

Manifestasi

Daerah panas bumi Kalawat memiliki beberapa manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas dengan temperatur air panas maksimum sekitar 88°C yang berkaitan dengan aktivitas Gunung Mahawu. Manifestasi lainnya adalah berupa batuan ubahan di sekitar mata air panas Kaleosan.

Kelompok air panas Kaleosan berada di desa Kaleosan, kecamatan Kalawat mempunyai temperatur air panas 68 – 88°C, pH netral 6,75 – 7,17, debit 0,1 – 1 lt/dtk, dan daya hantar listrik (DHL) cukup tinggi 1434 – 2000 $\mu\text{m}/\text{cm}$.

Air panas Sampiri berada di desa Sampiri, kecamatan Kalawat mempunyai temperatur air panas 40 – 42°C, pH netral 7,2, debit 0,2 – 1 lt/dtk,

dan daya hantar listrik (DHL) cukup rendah 392 - 518 $\mu\text{m/cm}$.

Air panas Sawangan berada di desa Sawangan, kecamatan Kalawat mempunyai temperatur air panas 39,7, pH netral 7,12, debit 2 lt/dtk, dan daya hantar listrik (DHL) rendah 214 $\mu\text{m/cm}$.

GEOKIMIA

Data pengukuran di lapangan dari daerah panas bumi Kalawat diperoleh 7 sampel air panas, 3 sampel air dingin, 13 sampel isotop, dan 136 sampel tanah.

Karakteristik Air Panas

Hasil pengeplotan pada diagram segitiga $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ (gambar 4), menunjukkan bahwa fluida pada kelompok air panas Kaleosan termasuk dalam tipe klorida. Indikasi fisik di lapangan memperlihatkan bahwa kelompok air panas Kaleosan mempunyai temperatur yang cukup tinggi disertai dengan hembusan gas yang cukup intensif. Indikasi kimia fluida air panas menunjukkan kandungan klorida yang tinggi pada fluida tersebut (± 400 ppm) dan nilai daya hantar listrik (DHL) yang tinggi sekitar 2000 $\mu\text{S/cm}$. Kandungan klorida yang tinggi menunjukkan bahwa fluida panas berasal langsung dari reservoir dan sedikit terjadi pencampuran dengan air permukaan, sedangkan nilai DHL tinggi diperkirakan akibat interaksi

fluida panas dengan batuan di kedalaman. Untuk air panas lainnya yaitu Sampiri dan Sawangan, yang bertemperatur rendah, mempunyai tipe bikarbonat. Hal ini diperkirakan adanya pencampuran yang intensif antara fluida panas dengan air permukaan.

Plotting pada diagram Na-K-Mg (gambar 4), kelompok mata air panas Kaleosan berada di perbatasan zona *partial equilibrium* dan *immature water*. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok air panas Kaleosan berasal dari kedalaman namun ada pengaruh atau pencampuran dengan air permukaan. Sedangkan air panas Sampiri dan Sawangan berada di zona *immature water*, yang mengindikasikan bahwa air panas ini dominan dipengaruhi oleh air permukaan.

Pada diagram Cl-Li-B (gambar 4), mata air panas di daerah Kalawat umumnya berada cenderung kearah Cl, yang menunjukkan lingkungan pemunculan mata air panas di pengaruhi oleh aktivitas magmatik.

Isotop ^{18}O dan Deuterium yang diperoleh dari sampel mata air panas daerah Kalawat, yaitu kelompok air panas Kaleosan, setelah diplot kedalam diagram hubungan antara Oksigen-18 dan Deuterium dimana pada umumnya cenderung menjauhi garis air meteorik (*Meteoric Water Line*) (gambar 5) yang

mengindikasikan telah terjadinya pengkayaan ^{18}O akibat adanya interaksi fluida panas dengan batuan di kedalaman. Hal ini mencerminkan bahwa kelompok mata air panas Kaleosan kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dan kemungkinan pengenceran oleh air meteorik adalah sangat kecil. Untuk air panas Sampiri dan Sawangan, hasil plotting terletak mendekati garis air meteorik. Hal ini mengindikasikan bahwa air panas Sampiri dan Sawangan dipengaruhi oleh air permukaan.

Pendugaan suhu bawah permukaan

Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah Kalawat dengan menggunakan geotermometer SiO_2 (*conductive-cooling*) rata-rata berkisar antara $150 - 167^\circ\text{C}$ dan termasuk kedalam entalphi sedang, menggunakan geotermometer Na-K rata-rata berkisar antara $193 - 215^\circ\text{C}$ yang menunjukkan temperatur relatif cukup tinggi, sedangkan menggunakan geotermometer Na-K-Ca rata-rata berkisar 170°C .

Melihat karakteristik kimia dari air panas di daerah penyelidikan, terutama air panas Kaleosan, seperti pH normal, suhu permukaan yang tinggi, terdapat sinter silika, bertipe klorida, dan berada di perbatasan zona *partial equilibrium*, maka penggunaan geotermometer

Na/K dimungkinkan. Berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K, maka perkiraan suhu bawah permukaan sebesar 200°C , yang termasuk entalpi sedang. Penghitungan geotermometer pada air panas Sampiri dan Sawangan tidak dapat digunakan karena hasil plotting pada diagram segitiga Na/1000-K/100- $\sqrt{\text{Mg}}$ berada pada zona *immature water* dimana terjadi pengenceran oleh air permukaan.

Distribusi CO_2 dan Hg

Anomali konsentrasi Hg tanah (gambar 6) diatas 90 ppb dimana kandungan Hg diatas nilai ambang batas terkonsentrasi di sekitar daerah manifestasi panas bumi Kaleosan dengan kisaran nilai Hg antara 190 – 300 ppb. Secara umum pola penyebaran Hg terkonsentrasi di sekitar pemunculan mata air panas Kaleosan, sedangkan dibagian Utara daerah penyelidikan terdapat anomali Hg yang relatif tinggi ke sedang, hal ini muncul akibat adanya aktivitas penambangan emas rakyat di sekitar area tersebut. Sedangkan distribusi temperatur, pH tanah, dan CO_2 udara tanah tidak memperlihatkan hubungan yang signifikan dengan keberadaan sistem panas bumi di daerah Kalawat.

PEMBAHASAN

Sistem Panas Bumi

Daerah panas bumi Kalawat memiliki morfologi yang bervariasi, tinggian yang terbentuk akibat proses vulkanisme terlampar di sekitar G.Klabat dan kompleks G.Mahawu di bagian baratdaya areal survey, sedangkan di antaranya tepatnya di sekitar air panas Kaleosan dan air madidi membentuk perbukitan bergelombang yang elevasinya lebih rendah. Pembentukan sistem panas bumi di daerah ini kemungkinan diawali sejak terbentuknya aktifitas vulkanisme G.Mahawu, dikarenakan posisi air panas berada di lereng mahawu, sedangkan di sekitar G.Klabat tidak ditemukan adanya rembesan air panas ataupun batuan ubahan yang aktif. Terdapat penyekat yang nampak sekali dari analisis struktur geologi, yang memisahkan ataupun membatasi aktifitas hidrotermal di sekitar Kaleosan yaitu sesar Kuwil.

Munculnya airpanas di sekitar Kaleosan dengan temperatur mencapai 88°C diawali ketika air meteorik masuk meresap hingga ke akuifer dalam, dan terakumulasi di sekitar Gunung Mahawu dalam suatu reservoir. Air dari permukaan dan fluida magmatik yang berasal dari aktifitas magmatik maupun yang terkandung dalam batuan bercampur dan terpanaskan oleh sumber panas yang berasal dari aktifitas vulkanisme G.Mahawu

(gunungapi aktif tipe A). batuan penudung yang berfungsi sebagai penahan panas dan lolosnya air kepermukaan terbentuk dari proses alterasi atau ubahan batuan akibat terjadinya perubahan fisik dan mineral pada batuan yang nampak hingga permukaan dengan ditunjukkan oleh keberadaan alterasi argilik di sekitar air panas dan produk aliran piroklastik di sekitar Rumengkor. Munculnya air panas di sekitar Kaleosan dan Sampiri kemungkinan diakibatkan oleh terbentuknya sesar Kaleosan dan sesar Sampiri. Air panas Kaleosan kemungkinan berada pada zona transisi upflow sedangkan sampiri berada di zona outflownya.

Sumber panas dalam sistem panas bumi Kalawat berasal dari aktifitas vulkanik aktif dari G.Mahawu. Batuan reservoir dalam sistem ini kemungkinan berasal dari rekahan yang berjenis tensional pada batuan vulkanik tua (produk Tondano) yang telah terelaskan dan belum terisi oleh mineral silika maupun kalsit. Produk piroklastik Tondano memiliki ketebalan mencapai ratusan meter yang mirip dengan batuan klastik dan terkekalkan kuat. Batuan penudung yang berfungsi sebagai segel supaya fluida di reservoir tidak keluar. Munculnya ubaha mineral lempung dengan jenis kaolin, illit dan halosit yang memiliki sifat

impermeable atau menahan lajunya fluida nampak sekali dipermukaan.

Air panas Kaleosan termasuk ke dalam tipe air panas klorida. Keberadaan mata air panas Kaleosan pada zona *partial equilibrium* memberikan gambaran bahwa kondisi air panas kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dengan temperatur cukup tinggi serta menunjukkan bahwa kondisi mata air panas Kaleosan ini sedikit sekali mendapat pengaruh dari air permukaan atau pengenceran air meteorik. Sedangkan mata air panas Sampiri dan Sawangan yang bertipe bikarbonat yang berada pada zona *immature water*, mengindikasikan pemunculan air panas kemungkinan telah mengalami kontaminasi oleh air permukaan atau pengaruh pengenceran air permukaannya cukup dominan. Manifestasi panas bumi Kaleosan diperkirakan upflow dari sistem panas bumi Kalawat karena mempunyai tipe klorida dan berada zona *partial equilibrium*, sedangkan manifestasi Sampiri dan Sawangan diperkirakan merupakan *outflownya*.

Area Prospek

Sebaran area prospek panas bumi berdasarkan hasil penelitian metode geologi, dan geokimia terdapat di bagian baratdaya daerah survey, sekitar airpanas Kaleosan hingga ke

Rumengkor (Gambar 8). Area prospek ini didukung oleh hasil kompilasi geologi struktur, anomali geokimia CO₂ dan Hg. Dari hasil kompilasi metode tersebut didapat luas area prospek panas bumi ini sekitar 12 km² untuk kelas sumber daya hipotetis.

KESIMPULAN

Daerah Kalawat berada pada lingkungan vulkanik G.Mahawu dengan distribusi air panas berada di lereng timurnya. Sistem panas bumi yang terbentuk berkaitan dengan aktifitas vulkanisme G.Mahawu dengan batuan penudung berupa alterasi argilik pada piroklastik Tondano untuk menahan naiknya fluida klorida ke permukaan. Luas areal prospek 12 km² dengan geotermometer 200°C diperoleh potensi kelas sumber daya hipotetis sebesar 51 MWe medium entalpi.

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 Pengembangan Geologi, Bandung.

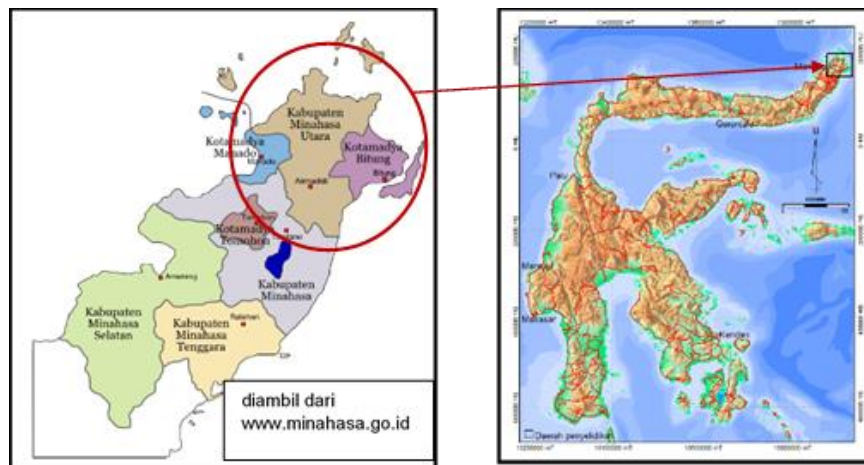
Tim Survei Pendahuluan, 2013, "Penyelidikan Panas Bumi Pendahuluan Geologi dan Geokimia Kabupaten Minahasa Utara dan Kota Bitung, Provinsi Sulawesi

Utara", Badan Geologi, Pusat Sumber Daya Geologi

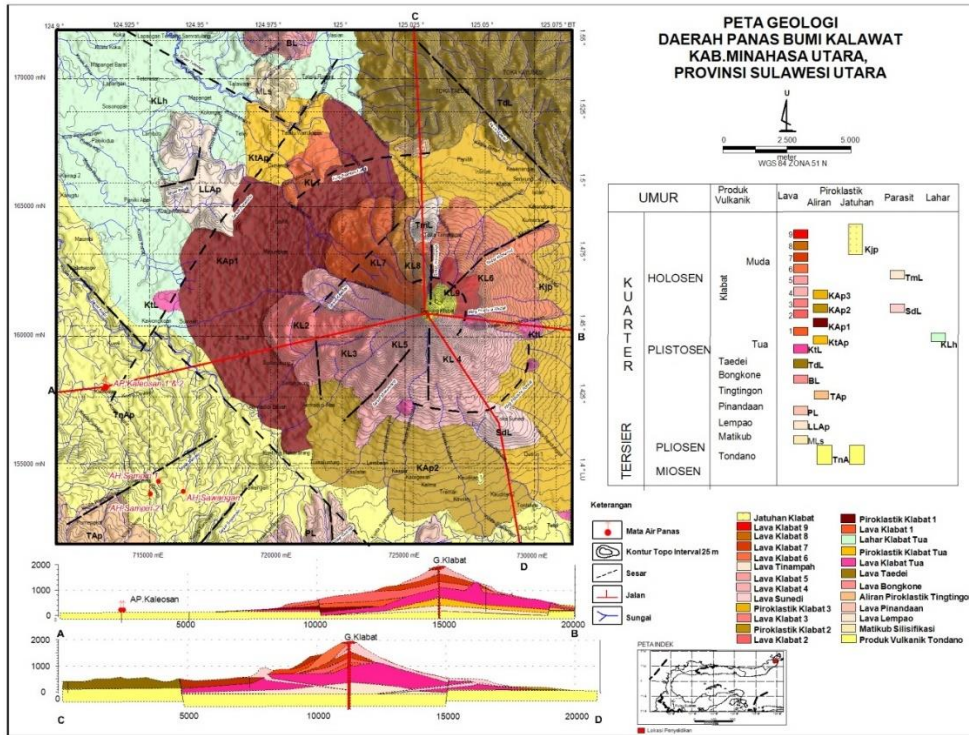
Van Leeuwen, T.M., 1994. *25 Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia*. *Journal of Geochemical Exploration*.

Villeneuve, 2001. *Geology of The Central Sulawesi Belt (Eastern Indonesia): Constrains of Geodynamic Models*. *International Journal Earth Science*. Springer-Verlag.

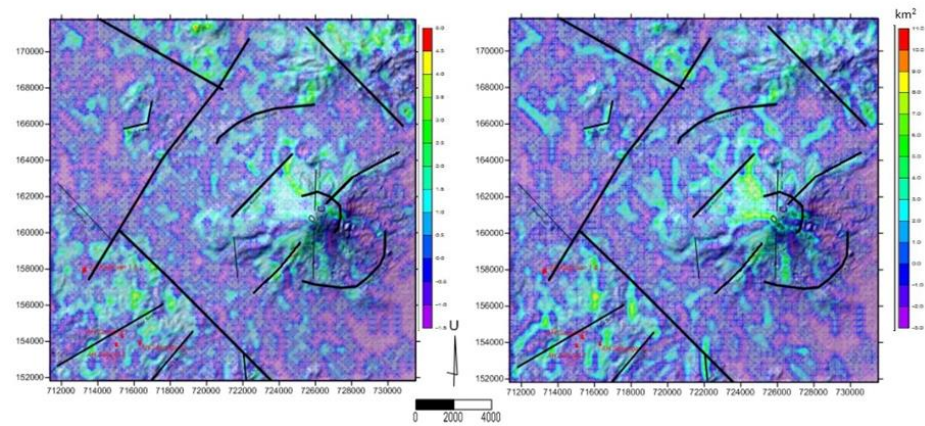
Wohletz, K. and Heiken, G., 1992. *Volcanology and Geothermal Energy*. University of California Press, Berkeley



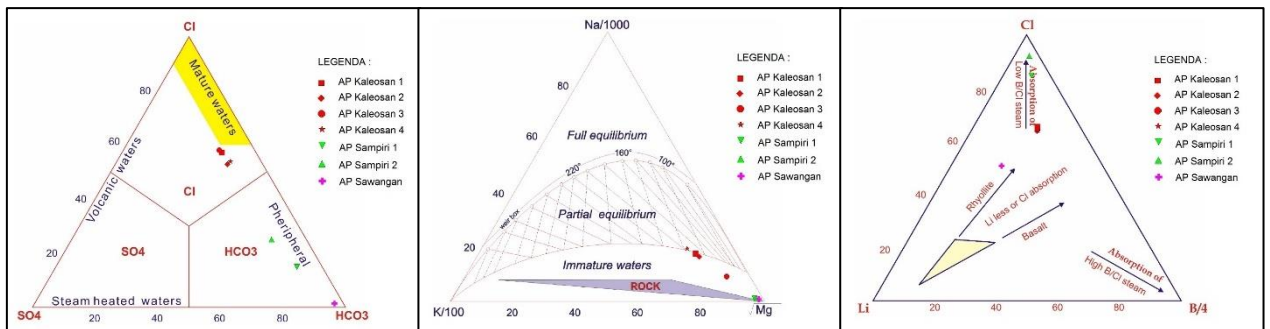
Gambar 1. Peta lokasi penelitian



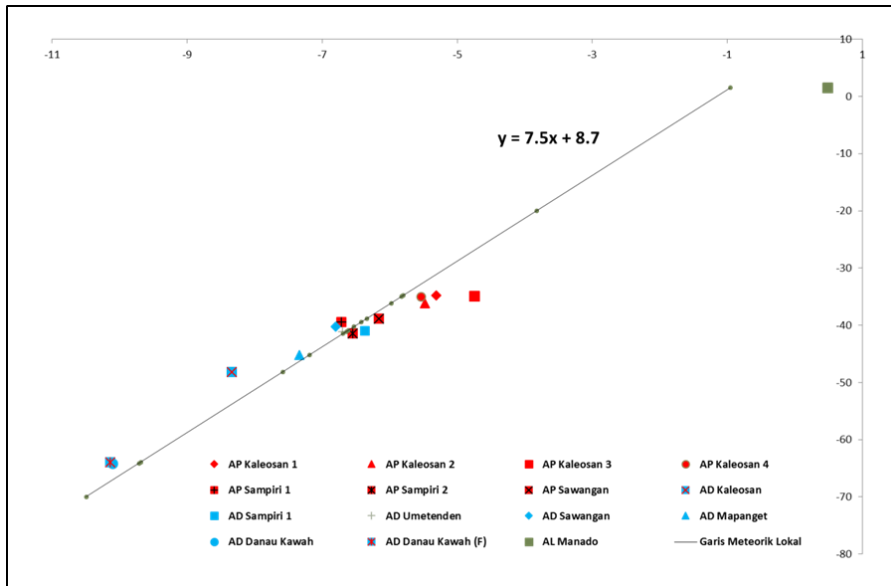
Gambar 2. Peta Geologi daerah Pariangan



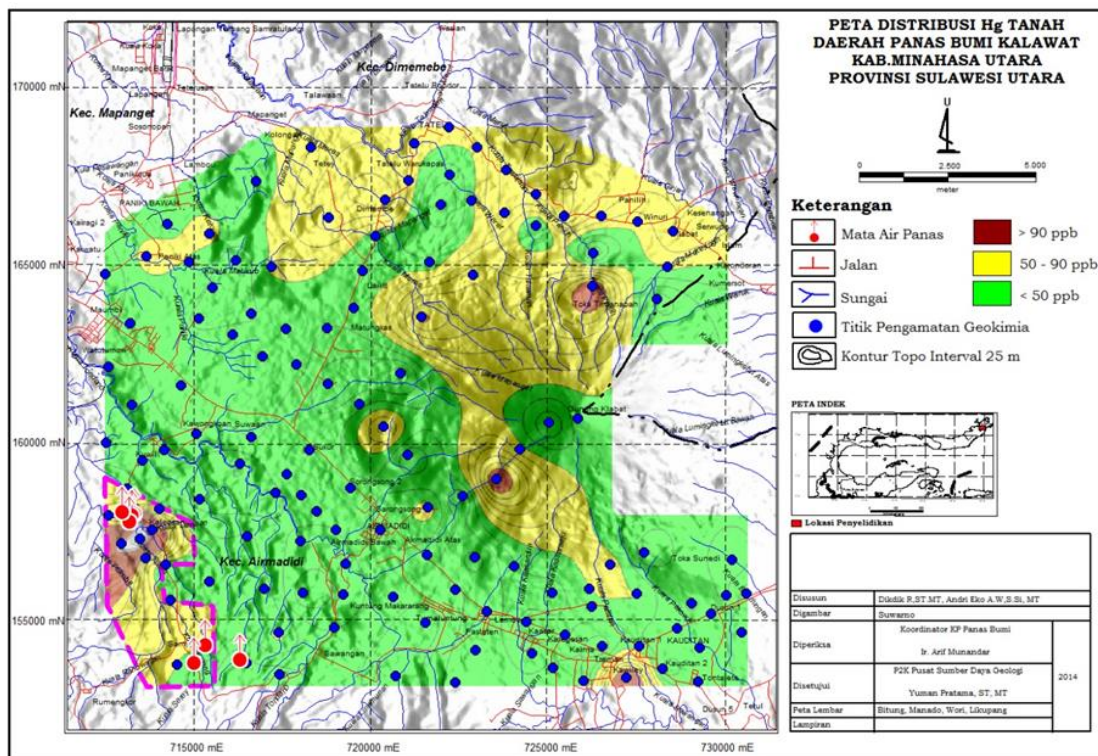
Gambar 3. Fracture and Fault Density daerah Kalawat



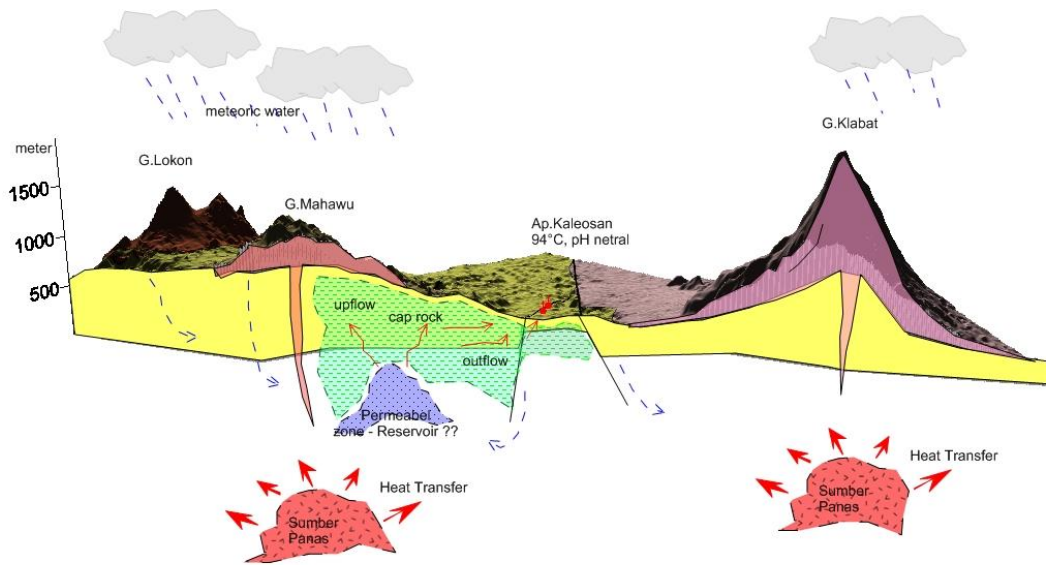
Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, Cl-Li-B



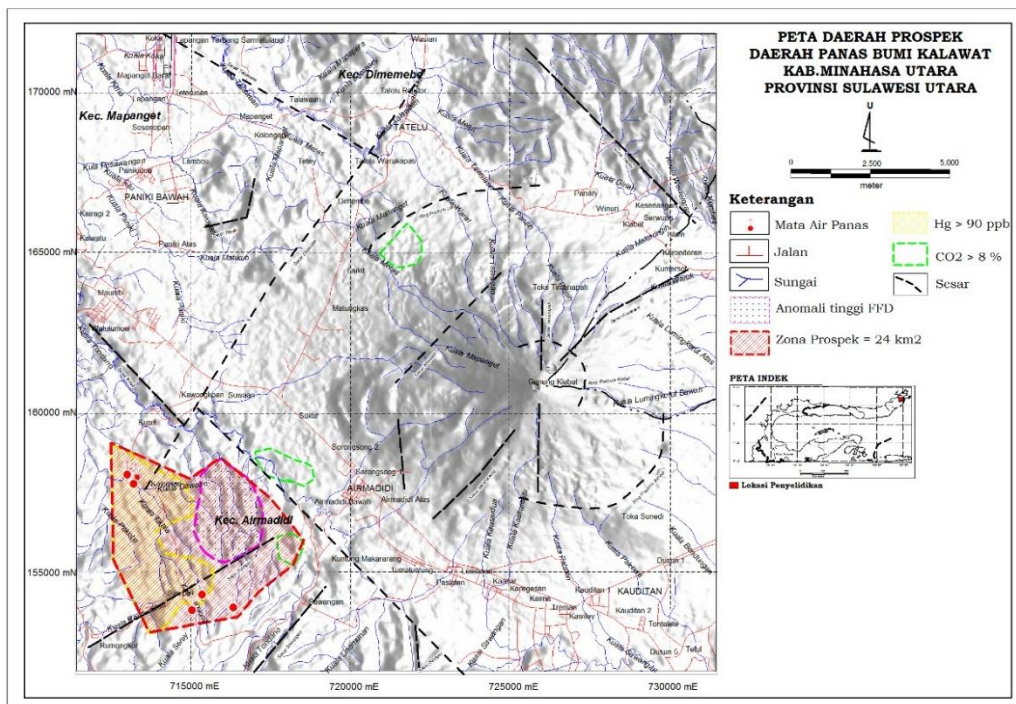
Gambar 5. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap $\delta^2\text{H}$ (Deuterium)



Gambar 6. Peta kontur sebaran Hg tanah daerah Kalawat



Gambar 7. Model Tentatif sistem panas bumi Kalawat



Gambar 8. Peta kompilasi geologi dan geokimia daerah panas bumi Kalawat