

Survei Terpadu Geologi Daerah Panas Bumi Kadidia Selatan, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah

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

SARI

Sistem panas bumi Kadidia Selatan berada pada tatanan geologi Sulawesi bagian Tengah yang didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit. Sedangkan tektonisme yang masih aktif hingga saat ini adalah jalur sesar aktif Palu Koro dimana salah satu segmennya mengarah ke daerah survey. Secara geologi, batuan di daerah survei didominasi oleh batuan vulkanik tua, meta granit, batupasir, konglomerat, granit bulili, granit terobosan dan koluvium.. Pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut erat kaitannya dengan aktivitas tektonik yang masih aktif hingga saat ini yaitu sesar aktif Palu Koro.

Manifestasi berupa air panas dengan temperatur 40 – 98,8°C, debit air 0,1 - 10 l/detik dan pH netral kearah basa dengan alterasi yang terbentuk adalah argilik –argilik lanjut dengan perkiraan temperatur > 200 °C. Sumber panas berasal dari aktifitas seismik aktif yang memanaskan tubuh granit Kuartar. Batuan penudung diperkirakan berasal dari batuan ubahan produk lava dan batupasir. Permeabilitas batuan reservoir terbentuk pada satuan lava Towingkoloe dengan kedalaman belum dapat ditentukan. Fluida panas pada sistem panas bumi Kadidia Selatan bertipe klorida dan berada pada zona *partial equilibrium*. Temperatur reservoir diambil melalui perhitungan geotermometer NaK sebesar 245°C, termasuk entalpi tinggi.

Daerah prospek panas bumi berdasarkan data anomali CO₂, Hg dan pola struktur geologi, mencapai luas 4 km² di sekitar air panas Koala Rawa dan Nokilalaki. Total potensi sumber daya hipotetis adalah 44 MWe.

Kata kunci : panas bumi, potensi, Kadidia Selatan

Pendahuluan

Kebutuhan energi alternatif selain energi fosil dirasakan semakin mendesak bagi pemenuhan energi listrik di dalam negeri. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, pemerintah perlu melakukan penyelidikan energi alternatif panas bumi, untuk mengetahui besarnya potensi energi panas bumi bagi penyediaan tenaga listrik. 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 Nokilalaki, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi 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.

Penyelidikan ini dimaksudkan untuk mengumpulkan data geosains dengan mengetahui karakteristik batuan dan fluida dalam sistem panas bumi daerah Kadidia Selatan di Kecamatan Nokilalaki, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah dengan tujuan untuk mengetahui sebaran prospek (vertikal, horizontal) serta besarnya potensi panas bumi pada kelas sumber daya.

Daerah panas bumi Kadidia Selatan secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Nokilalaki dengan koordinat $1^{\circ} 17' 26,4624''$ - $1^{\circ} 10' 56,5932''$ LS dan $120^{\circ} 2' 37,6116''$ - $120^{\circ} 8' 35,3868''$ BT atau 9.857.169 – 9.869.122 mU dan 170.987 – 182.002 mT pada sistem UTM zona 51, belahan bumi selatan, dengan luas sekitar 11 km X 12 km (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

Dari peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi-2114, skala (1 : 250.000), bahwa daerah panas bumi Kadidia Selatan secara umum ditempati oleh endapan danau (QI) menempati bagian tengah rencana daerah penyelidikan, terdiri dari lempung, lanau, pasir dan kerikil, perlapisan mendatar dengan ketebalan beberapa meter sampai puluhan meter, sebagian kecil di selatan dan di timur daerah penyelidikan ditempati oleh satuan batuan yang tergabung dalam Formasi Napu (TQpm) berupa : batupasir, konglomerat, batulanau dengan sisipan lempung, gambut, umurnya diduga Pliosen-Plistosen, dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sampai

payau, tebal satuan kurang dari 1000 meter, diduga menjemari dengan Formasi Puna, dan ditindih tak selaras oleh endapan danau. Endapan danau tersebut ditempati oleh satuan batuan yang terdiri dari lempung, lanau, pasir dan kerikil, menunjukkan pelapisan mendatar, tebalnya beberapa meter sampai puluhan meter.

Daerah Kadidia Selatan sebagian ditempati oleh batuan Granit Kambuno (Tpkg) yaitu berupa granit dan granodiorit, Granit berwarna putih berbintik hitam, berbutir sedang sampai kasar, terdiri atas granit biotit, granit horenbleda biotit, mikroleukogranit dan mikrogranit horenbleda-biotit. Granodiorit mengandung mineral mafik horenbleda. Granit di Peg. Takolekaju menunjukkan umur 3,35 juta tahun (Sukanto, 1975), sehingga umur Granit Kambuno diduga Pliosen.

Pada bagian lain di tengah daerah penyelidikan diduduki oleh batuan Gunungapi Tineba (Tmtv) dan Formasi Napu. Batuan Gunungapi Tineba (Tmtv) terdiri dari lava andesit, horenbleda, lava basal, lava latit kuarsa dan breksi. Lava andesit berwarna kelabu sampai kehijauan, porfiritik dengan kristal sulung plagioklas dan horenbleda, sebagian plagioklas berubah menjadi serisit, kalsit dan epidot, sedang sebagian horenbleda berubah menjadi klorit.

Lava basal umumnya mempunyai kristal sulung yang sudah berubah, dengan massadar plagioklas, serisit, stilbit, kaca dan lempung, lava latit kuarsa berwarna kelabu, porfiritik menunjukkan mineral ubahan lempung, serisit dan klorit. Breksi berkomponen andesit-basal, berukuran sampai 10 meter cukup termampatkan. Satuan ini dihasilkan oleh peleleran dari gunungapi bawahlaut. Umumnya diduga Miosen Tengah-Miosen Akhir karena diterobos oleh granit berumur Pliosen-Plistosen. Tebal satuan tidak kurang dari 500 meter. Formasi Napu, terdiri dari batupasir, konglomerat, batulanau dengan sisipan lempung dan gambut, berada dalam lingkungan pengendapan laut dangkal sampai payau.

Geologi

Geomorfologi di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan, yaitu morfologi perbukitan terjal, morfologi perbukitan bergelombang, morfologi pedataran.

Berdasarkan sejarah geologinya, daerah Kadidia Selatan termasuk kedalam Mandala Sulawesi Tengah bagian Timur yang tersusun oleh batuan tertua berupa produk vulkanik Tersier dengan jenis lava dan breksi andesit (Tlt) produk gunung Towingkoloe, yang ditindih oleh produk sedimentasi berupa batupasir (Tbp)

dan konglomerat (Tkl). Seiring terjadinya obduksi antara mandala sulawesi bagian barat dengan mandala sulawesi tengah bagian timur akibat pergerakan sesar sorong menghasilkan produk plutonik granit yang berumur lebih muda pada Akhir Tersier (Tg). Selanjutnya terbentuk endapan molase berupa kolovium (Qk) yang merupakan produk rework dari batuan Tersier.

Struktur Geologi

Berdasarkan data tektonisme daerah penyelidikan menunjukkan pengaruh yang cukup kuat dari pola sesar mendatar mengiri Palu – Koro yang berarah baratlaut - tenggara beserta antitetiknya yang berarah barat - timur. Keberadaan sesar besar basement seperti sesar Koala Rawa yang menerus ke bagian baratlaut desa Rahmat dipotong oleh sesar periode ke tiga yang berarah hampir utara – selatan, dan diduga sesar dengan arah tersebut merupakan pembentuk zona permeabel pembentuk aktivitas hidrotermal yang meloloskan fluida panas ke permukaan.

Sesar yang berarah baratlaut – tenggara ditunjukkan oleh sesar Koala Rawa sebagai pengontrol manifestasi panas bumi di Sungai Koala Rawa, di bagian utaranya terbentuk sesar Noki, sesar Towingkoloe dan sesar Kumamora.

Sesar yang berarah barat daya – timur laut ditunjukkan oleh sesar Dongi, sesar Lindu dan sesar Kadidia yang juga memfasilitasi munculnya manifestasi di sekitar Sungai Koala Rawa.

Sesar yang berarah utara selatan ditunjukkan oleh sesar Rahmat dan kompleks Kumamora sedangkan sesar yang berarah Barat – timur ditunjukkan oleh sesar Bulili dan sesar Gangga dimana kenampakan dilapangan berupa gawir sesar dan kelurusan sungai.

Analisis Fracture Fault Density

Hasil analisis *Fracture and Fault Density* (Gambar 3) menunjukkan nilai densitas rekahan yang tinggi berada di bagian barat pada satuan granit dan di bagian tengah di sekitar air panas Koala Rawa. Hal tersebut menunjukkan bahwa zona permeabel telah terbentuk di sana dan memungkinkan terbentuknya proses hidrotermal dimana air permukaan masuk melalui daerah permeabel tersebut dan dipanaskan oleh batuan konduktif penghantar panas.

Manifestasi

Kenampakan gejala panas bumi di daerah penelitian berupa mata air panas, kolam air panas, tanah panas, dan batuan aliterasi yang muncul di beberapa lokasi, yaitu :

Kelompok air panas Nokilalaki, dengan temperatur terukur 80,5 - 96,4⁰C, pH 7,9 - 8,32 dengan daya hantar listrik relatif tinggi sekitar 1451 - 1701 μ s/cm dan debit sekitar 0,1 - 0,5 liter/detik.

Kelompok air panas Koala Rawa, dengan temperatur terukur 96,6 - 98,8⁰C, pH 7,91 - 9,41 dengan daya hantar listrik relatif tinggi sekitar 1803 - 1844 μ s/cm dan debit sekitar 4 - 10 liter/detik.

Air hangat Towing koloe, dengan temperatur terukur 40,2⁰C, pH 7, 1 dengan daya hantar listrik rendah sekitar 144 μ s/cm dan debit sekitar 0,4 liter/detik.

Air panas Kadidia, dengan temperatur terukur 81,6⁰C, pH 8,3 dengan daya hantar sekitar 529 μ s/cm dan debit sekitar 2 liter/detik.

Kelompok air panas Sejahtera, dengan temperatur terukur 51 - 62,8⁰C, pH 6,97 - 8,41 dengan daya hantar listrik sekitar 500 - 700 μ s/cm dan debit sekitar 0,6 liter/detik.

Air hangat Bulili, dengan temperatur terukur 40,4⁰C, pH 6,82 dengan daya hantar listrik rendah sekitar 300 μ s/cm dan debit sekitar 0,1 liter/detik.

Tanah Panas Koala Rawa, berada di dalam kompleks manifestasi Koala Rawa dengan suhu tanah panas

berkisar antara 50 - 100⁰C dan luas sekitar 100 x 100 m.

Batuan ubahan, yang terbentuk di sepanjang sungai Koala Rawa dengan warna fisik kehijauan dan putih hingga kekuningan. Di sekitar Koala Rawa ubahan mencapai 1 km² dengan komposisi mineral seperti montmorilonit, paragonit, epidot, alunit, illit, kaolinit, halosit. Mineral epidot, illit dan kaolinit menunjukkan mineral yang terbentuk pada temperatur tinggi, sedangkan montmorilonit pada temperatur rendah dengan pH netral.

GEOKIMIA

Data pengukuran di lapangan dari daerah panas bumi Kadidia Selatan diperoleh 8 sampel air panas, 1 sampel air dingin, 12 sampel isotop, 2 sampel gas, dan 99 sampel tanah.

Karakteristik Air Panas

Hasil pengeplotan pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (gambar 4), menunjukkan bahwa kelompok mata air panas Nokilalaki dan Koala Rawa termasuk dalam tipe klorida. Indikasi fisik di lapangan memperlihatkan bahwa kelompok air panas Nokilalaki dan Koala Rawa mempunyai temperatur yang tinggi disertai dengan tanah panas dan hembusan gas yang cukup intensif. Indikasi kimia fluida air panas menunjukkan kandungan klorida yang tinggi pada fluida tersebut (\pm 300-

400 ppm) dan nilai daya hantar listrik (DHL) yang tinggi sekitar 1400-1800 $\mu\text{S/cm}$. 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 Kadidia dan Towing Koloe, yang bertemperatur lebih rendah, mempunyai tipe bikarbonat. Hal ini diperkirakan adanya pencampuran yang intensif antara fluida panas dengan air permukaan atau air kondensat.

Plotting pada diagram Na-K-Mg (gambar 4) menunjukkan kelompok mata air panas Nokilalaki, Koala Rawa dan Kadidia berada di perbatasan zona *partial equilibrium* dan *immature water*. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok air panas Nokilalaki dan Koala Rawa berasal dari kedalaman namun ada pengaruh atau pencampuran dengan air permukaan. Untuk air panas Nokilalaki 1 yang berada di perbatasan *Partial* dan *Full Equilibrium*, menunjukkan fluida panas yang berada langsung dari kedalaman dengan perkiraan temperatur reservoir sekitar 240°C . Sedangkan air panas Towing Koloe berada di zona *immature water*, yang mengindikasikan bahwa air panas

ini dominan dipengaruhi oleh air permukaan.

Pada diagram Cl-Li-B (gambar 4), air panas di daerah Kadidia Selatan umumnya berada cenderung ke arah Cl, yang menunjukkan lingkungan pemunculan mata air panas diengaruhi oleh aktivitas magmatik. Berdasarkan diagram ini juga dapat terlihat bahwa sistem panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan mempunyai reservoir yang berbeda. Hal ini terlihat bahwa terdapat dua cluster pada manifestasi di Kadidia dan Kadidia Selatan.

Berdasarkan data hasil isotop ^{18}O dan Deuterium yang diperoleh dari sampel mata air panas daerah Kadidia Selatan, yaitu kelompok air panas Koala Rawa dan Nokilalaki yang mempunyai temperatur permukaan tinggi, setelah diplot kedalam diagram hubungan antara Oksigen-18 dan Deuterium cenderung menjauhi garis air meteorik (*Meteoric Water Line*) yang mengindikasikan telah terjadinya pengkayaan ^{18}O akibat adanya interaksi fluida panas dengan batuan di kedalaman. Hal ini mencerminkan bahwa kelompok mata air panas Koala Rawa dan Nokilalaki kemungkinan berasal langsung dari kedalaman dan kemungkinan pengenceran oleh air meteorik sangat kecil. Pada **gambar 5** terlihat asal usul pembentukan fluida

panas bumi daerah Kadidia Selatan, yaitu terjadi *mixing*/pencampuran dengan fluida magmatik dengan perkiraan prosentase komposisi fluida magmatik sebesar $\pm 10-20\%$.

Komposisi gas di daerah manifestasi Koala Rawa sangat didominasi oleh kandungan gas N_2 , O_2 dan CO_2 dibandingkan gas-gas lainnya yang relatif sangat kecil. Kandungan N_2 dan O_2 yang cukup tinggi menandakan bahwa ada pengaruh udara luar pada sampel gas yang diambil. Kandungan CO_2 yang tinggi menandakan bahwa reaksi yang berlangsung di bawah permukaan akan menghasilkan kandungan HCO_3 yang tinggi dalam larutan air panas. Indikasi gas-gas tersebut dicerminkan oleh komposisi kimiawi mata air panas di daerah Kadidia Selatan yang mengandung ion karbonat yang cukup tinggi. Hal ini memperlihatkan oleh adanya uap yang naik dari kedalaman sebagai air bawah permukaan yang bertemperatur tinggi dan mengalami tingkat proses pendinginan dikarenakan penurunan temperatur dengan gas CO_2 yang tersisa di dalam uap yang naik melalui batuan membentuk ion karbonat.

Dari data analisis gas yang diperoleh, dilakukan *plotting* pada grafik Norman dan Moore (1999) untuk mengetahui asal-usul gas tersebut (gambar 6). Dari grafik tersebut terlihat bahwa gas-gas

tersebut berasal dari fluida meteorik yaitu pengaruh udara luar cukup dominan, namun ada sedikit pengaruh dari fluida magmatik. Oleh karena itu, hasil analisis gas ini tidak bisa digunakan untuk memperkirakan temperatur reservoir dengan menggunakan geotermometer gas. Adanya pengaruh fluida magmatik juga sejalan dengan hasil analisis isotop, dimana pembentukan fluida panas bumi di daerah Kadidia Selatan ada pengaruh *mixing* dengan fluida magmatik.

Pendugaan suhu bawah permukaan

Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah Kadidia Selatan dengan menggunakan geotermometer SiO_2 (*conductive-cooling*) rata-rata berkisar antara $190 - 210^\circ C$ dan termasuk kedalam entalphi sedang, menggunakan geotermometer Na-K rata-rata berkisar antara $200 - 240^\circ C$ yang menunjukkan temperatur tinggi, sedangkan menggunakan geotermometer Na-K-Ca rata-rata berkisar $200^\circ C$.

Melihat karakteristik kimia dari air panas di daerah penyelidikan, terutama air panas Koala Rawa dan Nokilalaki, seperti pH netral, 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 - 260°C, yang termasuk entalpi tinggi.

Hasil plotting entalpi klorida pada **gambar 7** menunjukkan temperatur *parent fluida* sebesar 245°C dengan konsentrasi klorida sebesar 305 ppm, sehingga diperkirakan temperatur bawah permukaan yang berhubungan dengan reservoir panas bumi Kadidia Selatan sebesar 245°C.

Distribusi CO₂ dan Hg

Anomali konsentrasi Hg tanah (gambar 8) diatas 500 ppb dimana kandungan Hg diatas nilai ambang batas terkonsentrasi di sekitar daerah manifestasi panas bumi Koala Rawa dan Nokilalaki dengan kisaran nilai Hg antara 500 - 3100 ppb. Konsentrasi Hg tertinggi terdapat di sekitar daerah manifestasi panas bumi Koala Rawa dengan konsentrasi Hg mencapai 3100 ppb yang diperkirakan merupakan daerah prospek panas bumi Kadidia Selatan. Anomali temperatur tanah juga ditemukan disekitar air panas Koala Rawa Diana terdapat tanah panas dengan suhu mencapai 100°C. Pola penyebaran CO₂ pada umumnya tidak menunjukkan adanya anomali yang berarti, dengan konsentrasi CO₂ yang relatif merata dan nilai ambang yang

relatif kecil, yaitu 4 %. Sedangkan distribusi pH tanah tidak memperlihatkan hubungan yang signifikan dengan keberadaan sistem panas bumi di daerah Kadidia Selatan.

PEMBAHASAN

Sistem Panas Bumi

Daerah panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan berada pada lingkungan non vulkanik dengan setting *medium terrain*. Daerah ini diperkirakan merupakan sistem panas bumi temperatur tinggi dengan pemunculan manifestasi bertemperatur tinggi, terdapat sinter silika, dan tanah panas.

Daerah Kadidia Selatan berada pada tatanan geologi Sulawesi bagian Tengah yang didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit. Sedangkan tektonisme yang masih aktif hingga saat ini adalah jalur sesar aktif Palu Koro dimana salah satu segmennya mengarah ke daerah survei. Pembentukan daerah ini berawal dari aktivitas tumbukan *collision* antara lempeng Sulawesi bagian timur dengan Lempeng Mikro Banggai Sula akibat terdorong oleh sesar Sorong. Di daerah survei terbentuklah magmatisme dalam bentuk batuan granit diiringi terbentuknya aktifitas vulkanik Tersier, dalam hal ini bukti di lapangan ditemukan di sepanjang sungai Koala

Rawa berupa lava basal kehijauan dan breksi vulkanik. Sedangkan granit yang umurnya lebih tua mengalami metamorfisme akibat aktifitas vulkanik tersebut. Setelah pembentukan aktivitas vulkanik diiringi dengan terbentuknya cekungan karena terjadi rifring dan terisi oleh produk sedimentasi berupa batupasir dan konglomerat. Aktifitas tektonik terjadi kembali dan terbentuk pada periode Pliosen ke Plistosen dan seiring itu aktifitas magmatisme meningkat dan menghasilkan produk granit bulili dan terobosan granit di sekitar Kamarora.

Sistem panas bumi Kadidia Selatan berasal dari air meteorik yang masuk meresap melalui zona permeabel pada celah sesar dan rekahan hingga kedalaman, kemudian terperangkap dalam suatu wadah reservoir dan terpanaskan oleh aktifitas seismic yang terakumulasi pada batuan plutonik jenis granit. Air yang terperangkap tersebut oleh batuan penutup dalam bentuk batuan vulkanik yang teralterasi dan pada batuan sedimen di permukaan yang kedap air. Fluida yang bersifat klorida dan gas dengan kandungan CO₂ yang tinggi kemudian muncul ke permukaan akibat terjadinya sesar sebagai jalan untuk naiknya air panas. Air panas yang muncul tersebar sepanjang jalur Koala Rawa dengan

endapan berupa sinter silika, sinter karbonat dan juga endapan belerang.

Secara geologi ada beberapa area di daerah penyelidikan yang memungkinkan menjadi sumber panas, yaitu tubuh plutonik berkomposisi granitik yang diperkirakan berumur Plioplistosen. Hal tersebut didukung oleh terbentuknya tektonik aktif seperti terjadinya gempa yang cukup sering di wilayah Danau Lindu, sehingga panas yang dihasilkan terakumulasi dan tersimpan dalam tubuh induk plutonik berkomposisi granitik ini. Litologi pembentuk reservoir diduga merupakan batuan terobosan berkomposisi granitik yang termalihkan, yang kaya akan rekahan dan bersifat permeabel. Sifat permeabel itu sendiri diakibatkan oleh rekahan yang terbentuk akibat aktifitas struktur sesar yang ada. Batuan penutup diperkirakan berupa zona batuan ubahan argilik yang kaya akan mineral lempung sehingga memiliki sifat tidak lulus air atau kedap air (*impermeable*).

Air panas Koala Rawa dan Nokilalaki termasuk ke dalam tipe air panas klorida. Keberadaan mata air panas Koala Rawa dan Nokilalaki 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 ini sedikit sekali mendapat pengaruh dari air permukaan atau pengenceran air meteorik. Sedangkan mata air panas Kadidia dan Towing Koloe 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 Koala Rawa dan Nokilalaki diperkirakan upflow dari sistem panas bumi Kadidia Selatan karena mempunyai tipe klorida dan berada zona *partial equilibrium*, sedangkan manifestasi Kadidia dan Towing Koloe diperkirakan merupakan *outflownya*.

Area Prospek

Sebaran area prospek panas bumi (gambar 10) berdasarkan hasil penelitian metode geologi, dan geokimia terdapat di bagian tengah lokasi survei di sekitar airpanas Koala Rawa. 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 Kadidia Selatan sekitar 4 km² untuk kelas sumber daya hipotetis

KESIMPULAN

Sistem panas bumi Kadidia Selatan termasuk pada sistem non-vulkanik bertemperatur tinggi dengan sumber panas berasal dari aktivitas seismik aktif yang memanaskan tubuh granit Kuarter. Batuan reservoir diperkirakan berada pada satuan lava Towingkoloe dengan kedalaman belum dapat ditentukan dengan batuan penutuping diperkirakan berasal dari batuan ubahan produk lava dan batupasir. Luas areal prospek 4 km² dengan geotermometer 245°C diperoleh potensi kelas sumber daya hipotetis sebesar 44 MWe medium entalpi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif M, 2009, Laporan Uji Petik dalam rangka “*Joint Study on Non Volcanic Hosted Geothermal System in Central Part of Sulawesi*”,
- Bemmelen, van R.W., 1949. “*The Geology of Indonesia*”. Vol. I A. The Hague. Netherlands.
- Brouwer, H.A., 1947, Geological Exploration in nthe island of Celebes. Amsterdam, Nirth Holand Pub. Co.
- Overseas Technical Cooperation Agency, 1973. Report on Geological Survey of Central Sulawesi, Indonesia (unpubl).
- Cooper, G.R.J., 2002, GeoModel Method, School of Geosciences, the Witwatersrand Johanesburg, South Africa.

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.

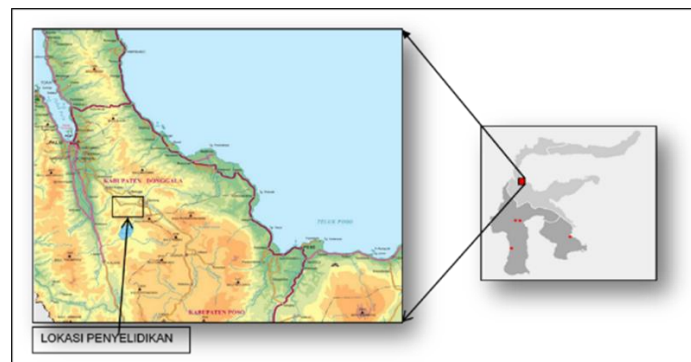
Hamilton W., 1979. *“Tectonic of Indonesia Region”,*

Geol.Surv.Prof.Papers,U.S.Govt.Print Off.,Washington.

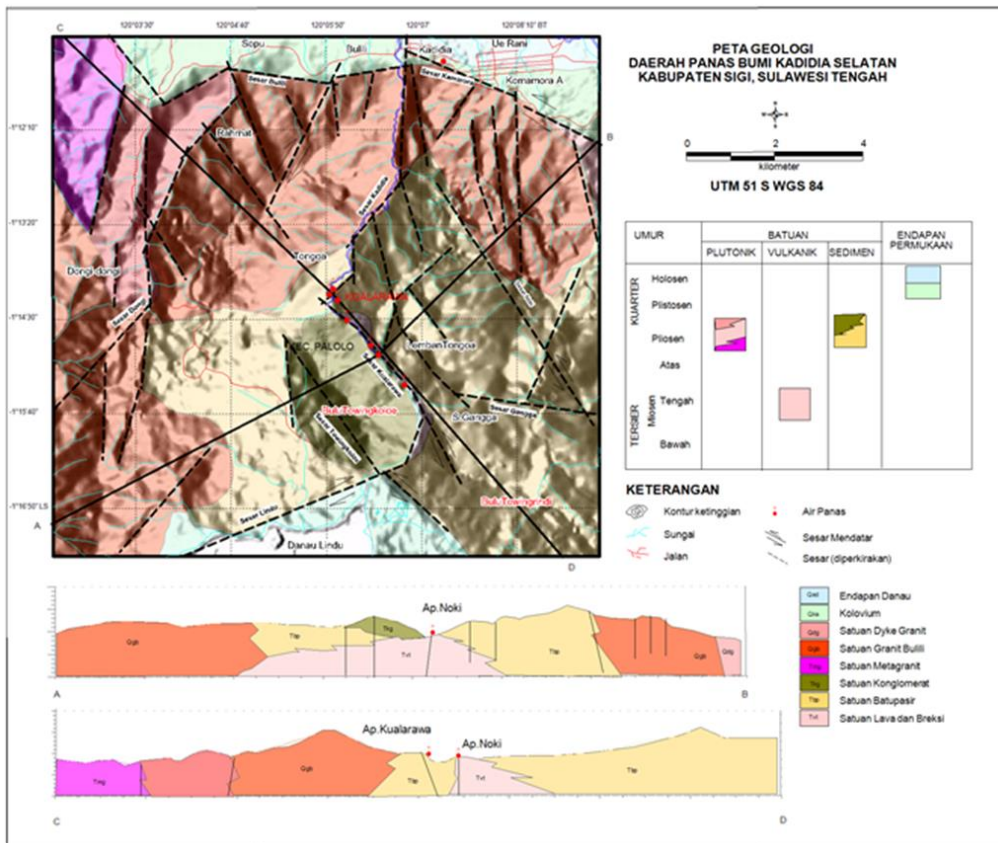
Hutchinson,C.S.,1989. *“Geological Evolution of South-East Asia”, Oxford Mono. Geol. Geoph., 13, Clarendon Press, Oxford*

Lawless, J., 1995. *“Guidebook: An Introduction to Geothermal System”*. Short course. Unocal Ltd. Jakarta.

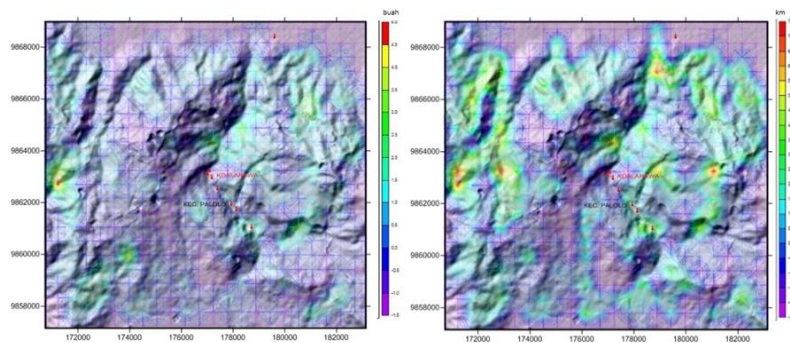
Mahon K., Ellis, A.J., 1977. *“Chemistry and Geothermal System”*. Academic Press Inc. Orlando



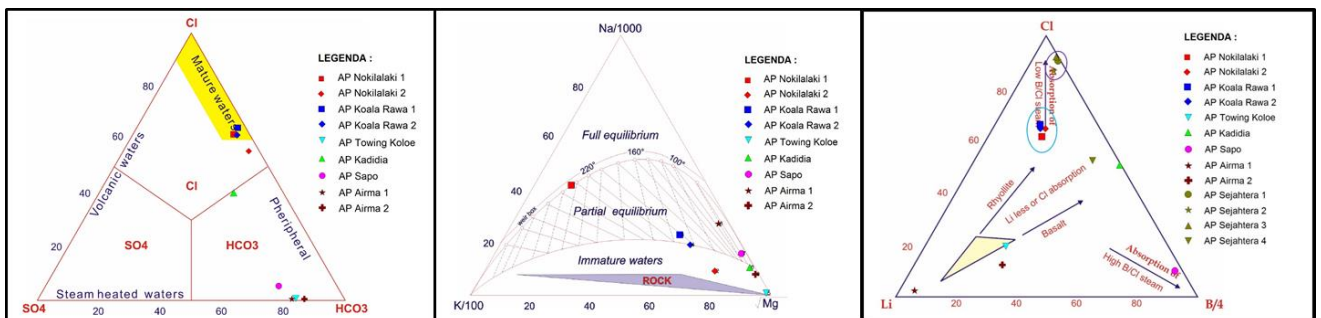
Gambar 1. Peta lokasi penelitian



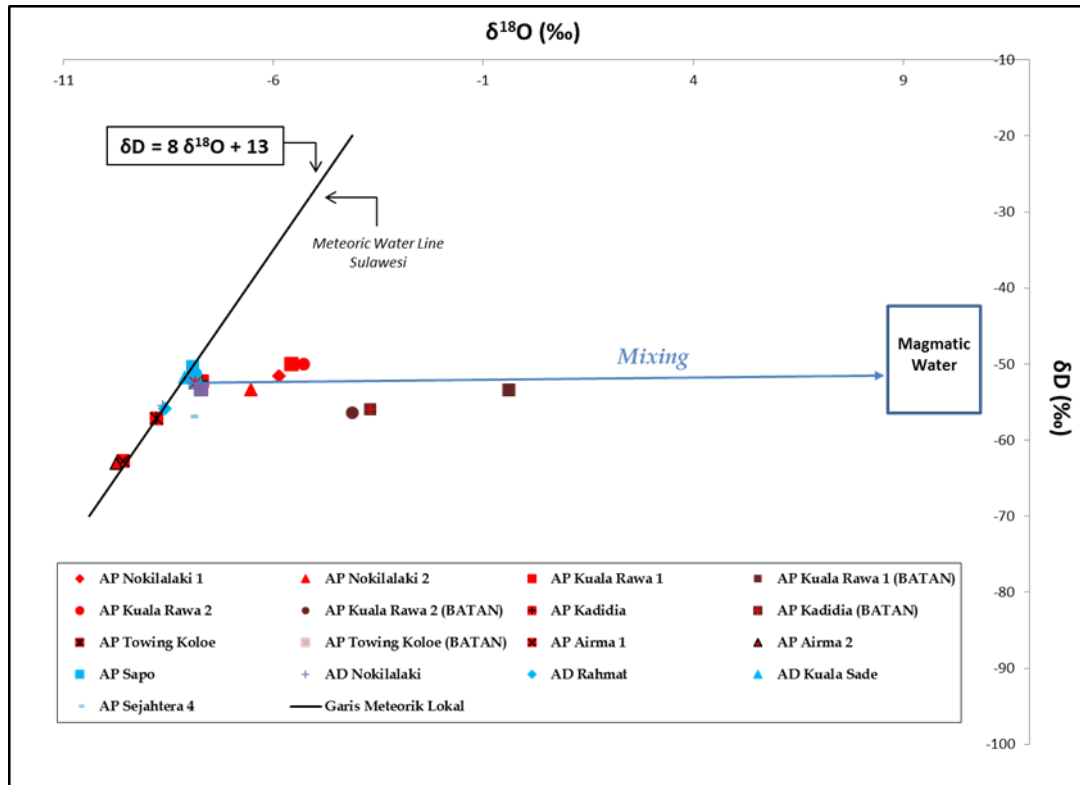
Gambar 2. Peta Geologi daerah Kadidia Selatan



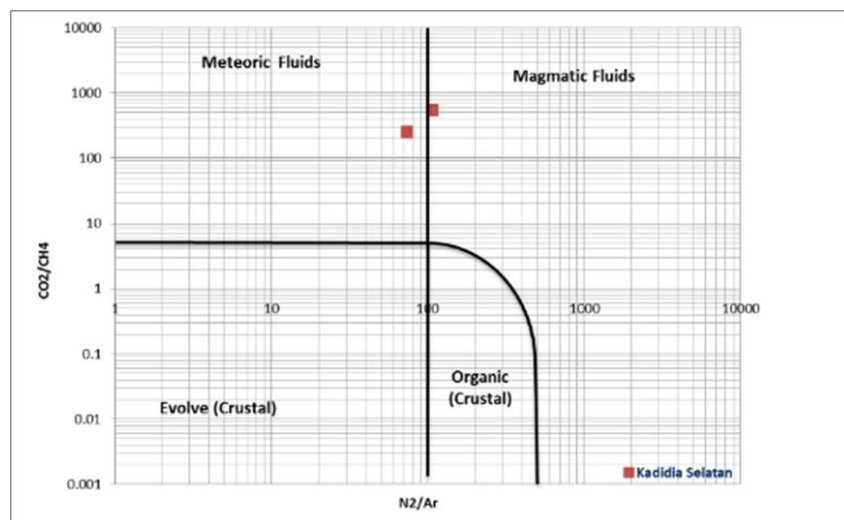
Gambar 3. Fracture and Fault Density (FFD) daerah Kadidia Selatan



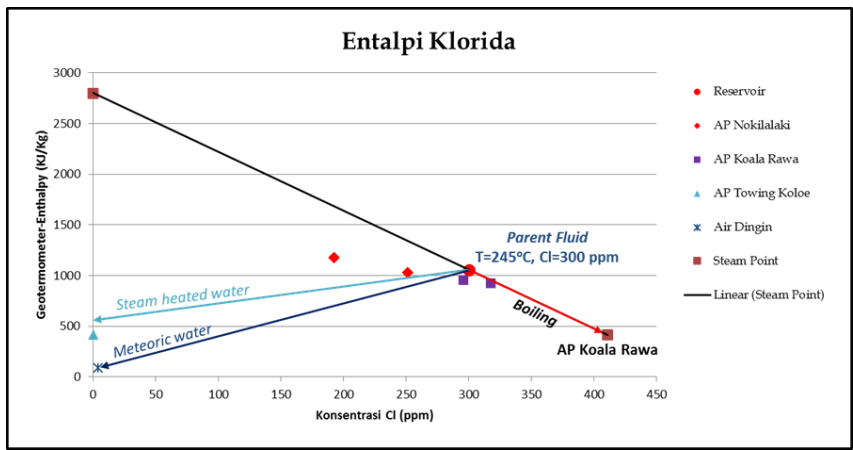
Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, Cl-Li-B



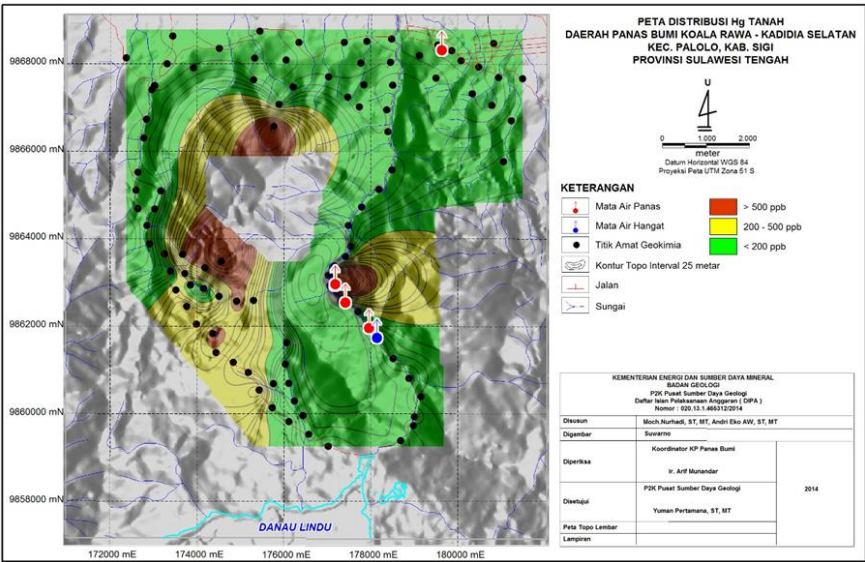
Gambar 5. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ terhadap $\delta^2\text{H}$ (Deuterium)



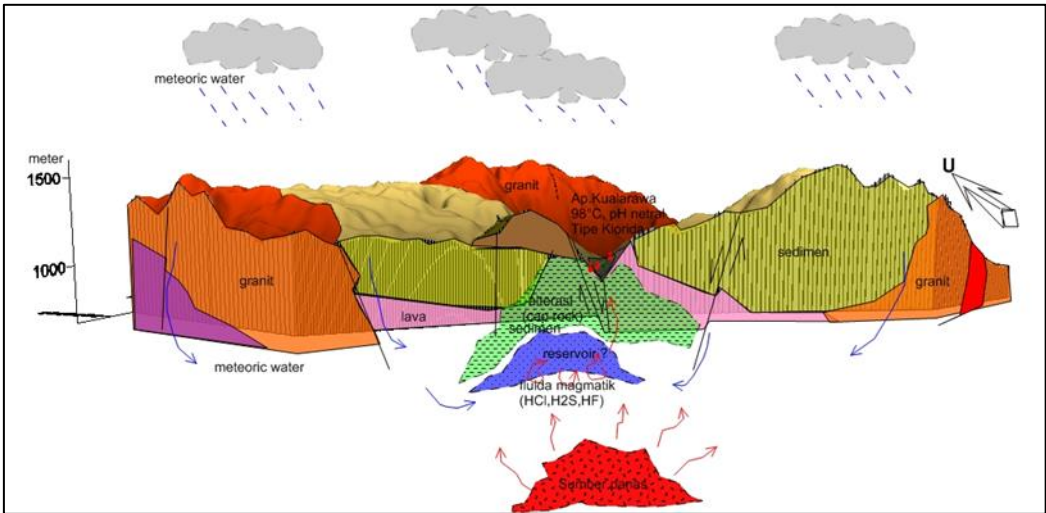
Gambar 6. Grafik asal-usul gas daerah Kadidia Selatan (Norman and Moore, 1999)



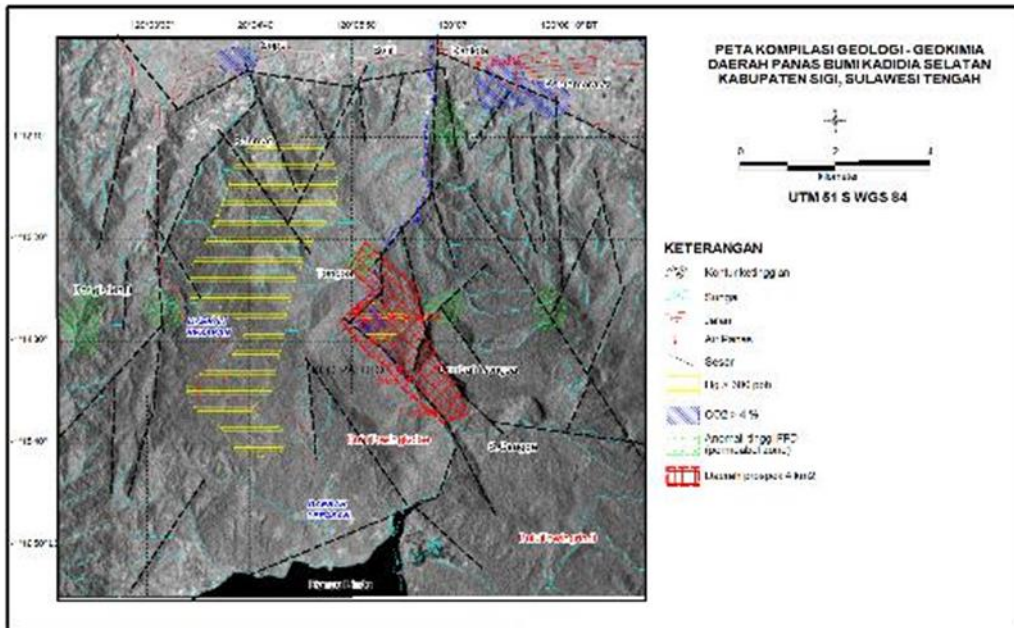
Gambar 7. Entalpi klorida daerah Kadidia Selatan



Gambar 8. Peta kontur sebaran Hg tanah daerah Kadidia Selatan



Gambar 9. Model Tentatif sistem panas bumi Kadidia Selatan



Gambar 10. Peta kompilasi geologi dan geokimia daerah panas bumi Kadidia Selatan