

SURVEI TERPADU GEOLOGI DAN GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI MALINGPING KABUPATEN LEBAK, PROVINSI BANTEN

Dikdik Risdianto, Dedi Kusnadi
KP Panas Bumi

SARI

Daerah Panas Bumi Malingping secara administrasi berada di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, atau terletak antara $105^{\circ} 52' 28''$ hingga $106^{\circ} 2' 56''$ BT dan $6^{\circ} 37' 27'' - 6^{\circ} 47' 35''$ LS.

Morfologi daerah penyelidikan terdiri dari perbukitan bergelombang, perbukitan kubah lava dan pedataran, dimana proses pembentukannya dikontrol oleh litologi serta struktur geologi penyusunnya. Litologi didominasi oleh batuan sedimen yang berumur Tersier dengan lingkungan pengendapan di laut. Selain itu batuan vulkanik berupa kubah lava dan tubuh-tubuh intrusi menerobos satuan batuan sedimen ini. Hasil analisis *dating fission track* pada satuan kubah lava menunjukkan umur $1,2 \pm 0,1$ juta tahun atau Kala Pliosin. Struktur geologi terdiri dari sesar geser, perlipatan dan sasar naik yang terbentuk akibat respon gaya dari arah selatan.

Hasil kalkulasi pendugaan temperatur reservoir menunjukkan temperatur reservoir sekitar 160°C atau masuk dalam entalpi sedang. Kompilasi data geosain mengindikasikan bahwa zone prospek berada di sekitar mata air panas Citando dengan luas sekitar 4 km^2 , dengan potensi **13 Mwe** yang masuk dalam kelas Sumber Daya Hipotetis.

Kata kunci : Panas Bumi, Malingping, mata air panas, entalpi sedang.

1. Pendahuluan

1.1. Lokasi Penyelidikan

Secara administratif, lokasi penyelidikan panas bumi Malingping termasuk ke dalam Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Lokasi penyelidikan terletak antara koordinat geografis $105^{\circ} 52' 28'' - 106^{\circ} 2' 56''$ BT dan $6^{\circ} 37' 27'' - 6^{\circ} 47' 35''$ LS atau pada koordinat UTM 9.248.957 – 9.267.663 mU dan 596.641 – 616.000 mT, zona 48 di belahan bumi selatan (**Gambar 1**).

2. Geologi Daerah Penyelidikan

2.1. Morfologi

Pembagian Satuan Morfologi di daerah penyelidikan dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi, yaitu :

1. Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang
2. Satuan Morfologi Perbukitan Kubah Lava
3. Satuan Morfologi Pedataran.

Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang

Satuan morfologi perbukitan ini menempati hampir 50 % daerah penyelidikan, menyebar hampir merata di daerah penyelidikan. Satuan morfologi ini tersusun oleh litologi tuff, batuan pasir serta perselingan batupasir dan lempung. Mempunyai kemiringan lereng antara 10° hingga 40° .

Pola aliran sungai terdiri dari pola dendritik dan trellis yang dikontrol oleh struktur

perlapisan batuan sedimen yang kurang lebih mempunyai arah jurus baratlaut – tenggara. Elevasi satuan morfologi ini adalah 70 hingga 300 m dpl, dan merupakan daerah perkebunan terutama perkebunan kelapa sawit dan karet.

Satuan Morfologi Perbukitan Kubah Lava

Satuan morfologi ini membentuk morfologi tersendiri yang diakibatkan oleh litologi yang menyusunnya, yaitu batuan beku. Satuan ini tersebar di baratlaut, barat, tengah dan tenggara daerah penyelidikan dan menempati kurang lebih 10% luas total daerah penyelidikan. Satuan ini terbentuk akibat adanya aktivitas vulkanik berupa terobosan batuan beku yang membentuk kubah lava, dengan kemiringan lereng antara 40° hingga mencapai 80° dan elevasi antara 150 hingga 300 m di atas permukaan laut.

Satuan Morfologi Pedataran

Satuan morfologi Pedataran menyebar di bagian baratdaya daerah penyelidikan berupa pesawahan, penyebarannya sekitar 40 % dari luas keseluruhan daerah penyelidikan. Kemiringan lereng daerah ini kurang dari 10°, dengan ketinggian antara 5 – 50 m asl.

2.2. Stratigrafi

Batuan tertua di daerah ini diperkirakan sebagai Batuan sedimen yang berumur Tersier yang termasuk dalam Formasi Bojongmanik. Berikut adalah urutan stratigrafi daerah penyelidikan dari yang tua hingga muda :

Satuan Batuan Sedimen

Satuan ini tersingkap di bagian barat daerah penyelidikan, terdiri dari perselingan batu pasir dan batu lempung karbonatan. Batu pasir berwarna kelabu hingga kelabu tua,

pasir halus hingga sedang, karbonatan, struktur sedimen perlapisan sejajar dan liminasi sejajar, setempat mengandung cangkang moluska. Batu lempung berwarna kelabu tua, setempat mempunyai struktur sedimen perlapisan sejajar dengan ketebalan antara 1 hingga 5 mm, setempat menyerpih dan mengandung laminasi batubara.

Dari hasil analisis biostratigrafi, satuan batuan ini berumur N-6 hingga N-9 atau Kala Miosen Tengah, dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal.

Satuan Batuan Sedimen Tufaan

Satuan ini tersebar hampir merata di seluruh daerah penyelidikan, tersusun oleh batu pasir tufaan dan tuff. Batu pasir tufaan berwarna krem hingga kelabu muda, non karbonatan, ukuran butir pasir hingga pasir halus, struktur sedimen terdiri dari perlapisan sejajar dan laminasi sejajar. Satuan ini setempat mengalami ubahan hidrotermal yang didominasi oleh mineral sekunder silika (silisifikasi) dan sebagian kecil berupa mineral lempung sekunder. Zone ubahan pada satuan batuan sangat intensif terutama di daerah kontak dengan satuan kubah lava.

Berdasarkan kesetaraan stratigrafi, satuan ini merupakan bagian dari formasi Cipacar yang berumur Miosen hingga Pliosen.

Satuan Batuan Kubah Lava

Satuan ini tersebar di sebelah barat, tengah dan tenggara daerah penyelidikan, terdiri dari tubuh-tubuh kubah lava (*lava dome*) berkomposisi andesitik hingga basaltik. Tubuh-tubuh kubah lava ini menerobos satuan yang lebih tua yaitu satuan batuan sedimen dan sedimen tufaan. Sebagian tubuh-tubuh kubah lava ini telah mengalami ubahan

berupa silisifikasi dan argilik, tetapi tidak ditemukan urat-urat kuarsa (*quartz vein*) pada bagian silisifikasinya.

Hasil analisis umur batuan dengan metode jejak belah (*Fission Track*), diperoleh hasil bahwa umur satuan kubah lava ini adalah $1,2 \pm 0,2$ juta tahun atau Kala Plistosin.

Satuan batuan ini memperlihatkan bahwa di daerah penyelidikan telah terjadi proses hidrotermal (fosil) yang juga membawa mineral-mineral ikutannya berupa unsur-unsur logam.

Satuan Breksi Vulkanik

Satuan ini tersebar di bagian tenggara daerah penyelidikan, terdiri dari breksi vulkanik dengan komponen fragmennya didominasi oleh batuan beku, selain itu terdapat juga fragmen berupa batuan sedimen dan sedimen tufaan.

Satuan ini terdistribusi di sekeliling tubuh kubah lava yang berada di bagian tenggara daerah penyelidikan.

Satuan ini diperkirakan merupakan rombakan (*reworked*) dari satuan batuan yang lebih tua. Berdasarkan peta geologi regional yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi tahun 1992, satuan ini sebanding dengan satuan breksi dan tuff Malingping yang berumur Pliosen.

Satuan Jatuhan Piroklastik

Tersebar di bagian barat daerah penyelidikan, berupa endapan piroklastik berupa tuff hingga lapilli tuff, berwarna kelabu muda hingga krem, setempat terdapat fragmen-fragmen pumice yang mencapai ukuran 3 cm, tidak terlalu kompak dan memperlihatkan perlapisan mengikuti topografi yang ditempatinya.

Bila diamati dari segi fisiknya yaitu belum terlalu kompak dan masih segar (belum terubah), satuan ini diperkirakan sebagai pruduk jatuhan piroklastik hasil erupsi gunung Krakatau yang terjadi pada tahun 1883, yang berada di Selat Sunda.

Aluvial

Satuan ini tersebar di sepanjang aliran sungai dan di satuan morfologi pedataran. Tersusun atas komponen aneka ragam batuan dengan ukuran mencapai 1,5 m, tingkat kebundaran membundar hingga membundar tanggung, dengan kondisi tidak kompak (**Gambar 2**).

2.3. Struktur Geologi

Pengamatan struktur geologi daerah penyelidikan dilakukan dengan metode observasi di lapangan dan analisis citra satelit serta analisis citra DEM (*Digital Elevation Mode*). Hasil analisis pola-pola kelurusan menunjukkan bahwa arah kelurusan didominasi oleh arah utara-selatan dan baratlaut-tenggara. Sedangkan hasil analisis *Fault Fracture Density (FFD) by frequency* dan *by length* menunjukkan bahwa mata air panas Malingping berada di zone dengan nilai FFD tinggi hingga sedang, adapun pola penyebaran nilai FFD nya relatif berarah baratlaut-tenggara.

Sesar-sesar geser mempunyai arah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya, kedua arah ini diperkirakan merupakan pasangan yang merupakan respon dari dorongan gaya dari arah selatan. Dibeberapa tempat akibat interaksi dua arah struktur geologi ini mengalami bukaan dan memfasilitasi terbentuknya manifestasi berupa mata air panas Malingping.

Struktur lipatan yang terbentuk mempunyai arah sumbu lipatan yang relatif berarah barat-timur, dengan sumbu yang mengalami penunjaman kearah barat. Bentuk struktur lipatan ini diperkirakan akibat respon dari tekanan (*stress*, σ_1) yang berarah utara-selatan.

Indikasi sesar naik ditemukan di sebelah tenggara daerah penyelidikan, berupa gores-gores garis yang menunjukkan arah pergerakan sesar naik. Struktur sesar naik ini berarah relatif barat-timur dengan kemiringan (*dipping*) kearah utara. Pergerakan sesar ini juga diperkirakan sebagai respon dari tekanan (*stress*) gaya berarah utara-selatan.

3. Manifestasi Panas bumi

3.1. Mata air Panas

Air Panas Citando 1 (APC 1), berlokasi di Desa Senang Hati, Kecamatan Malingping. Temperatur air panas 54,73 °C pada temperatur udara 27,35 °C, debit 10 liter/detik, pH 7,24 dan daya hantar listrik 2900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mata air panas muncul pada batuan beku, terdapat sinter karbonat. Air jernih, tidak berbau, dan tidak berasa, terdapat oksida besi, dialirkan melalui talang bambu bagi yang berwisata yang masih sangat sederhana dan belum dikelola dengan baik.

Air Panas Citando 2 (APC 2), berlokasi hanya sekitar 15 meter dari lokasi air panas Citando 1. Temperatur air panas 53,72°C pada temperatur udara 25,57°C, debit 1 liter/detik, pH 7,26 dan daya hantar listrik 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mata air panas muncul pada celah batuan yang berubah serta sinter karbonat. Air panasnya jernih, tidak berbau, dan tidak berasa.

Air Panas Citando 3 (APC 3) berlokasi 50 meter dari lokasi air panas Citando 1, temperatur udara 24,26 °C, debit 1 liter/detik, pH 7,32 dan daya hantar listrik 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mata air panas muncul pada celah batuan yang telah mengalami ubahan silisifikasi serta munculnya sinter karbonat. Air panasnya jernih, tidak berbau, dan tidak berasa.

3.2. Batuan Ubahan

Batuan ubahan terbentuk sebagai proses interaksi antara batuan dengan fluida panas bumi, dengan demikian komposisi atau asosiasi mineral ubahan mencerminkan dari sifat fluida yang membentuknya.

Metode pengukuran mineral sekunder dilakukan dengan menggunakan alat *Infra-red spectrometer*. Secara umum mineral sekunder didominasi oleh illite, montmorillonite, gypsum, halloysite dan kaolin. Kecuali gypsum keseluruhan mineral-mineral sekunder tersebut termasuk dalam kelompok *clay* atau lempung.

Hasil interpolasi temperatur pembentukan mineral sekunder dan sifat pH dapat diketahui bahwa temperatur fluida pembentuk mineral ubahan berkisar antara 90 – 250 °C dan pH fluida cenderung bersifat asam.

4. Karakteristik Fluida Geokimia

4.1. Diagram Segitiga Cl-SO₄-HCO₃.

Pengklasifikasian terhadap mata air panas daerah panas bumi Malingping dan sekitarnya juga dilakukan melalui pengeplotan konsentrasi ion Cl⁻, SO₄²⁻, dan HCO₃⁻ pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃. Pengetahuan mengenai asal atau mekanisme pembentukan manifestasi air panas di permukaan tersebut penting untuk mengetahui tingkat representasi

kondisi air panas di permukaan terhadap kondisi fluida di reservoir (**Gambar 3**).

Hasil pengeplotan pada diagram segitiga, di atas menunjukkan bahwa semua air panas di daerah Malingping dan sekitarnya bertipe sulfat pH netral, sebagai indikasi adanya fluida panas pada pembentukan air panas di Malingping, atau mungkin diakibatkan oleh anhidrit atau gypsum dan batuan sedimen.

4.2. Diagram segitiga Na/1000, K/100, dan $\sqrt{\text{Mg}}$.

Diagram segitiga Na/1000, K/100, dan $\sqrt{\text{Mg}}$ dapat digunakan untuk memperkirakan sejauh mana kesetimbangan tercapai dalam reaksi antara fluida panas bumi dengan batuan reservoir, apakah dalam reaksi tersebut tercapai kesetimbangan yang sempurna, kesetimbangan sebagian, ataukah *immature*. Diagram segitiga Na-K-Mg (Gambar 2) memberikan indikasi bisa atau tidaknya sampel air panas digunakan untuk sarana memperkirakan kondisi reservoir panas bumi (geoindikator).

4.3. Diagram Segitiga Cl-Li-B.

Lithium (Li) digunakan sebagai perunut (*tracer*) karena merupakan logam alkali yang paling sedikit dipengaruhi oleh proses sekunder dalam menunjukkan pelarutan batuan reservoir pada tahap awal. Unsur ini digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kemungkinan sumber atau asal dari dua unsur 'konservatif' penting lainnya dalam fluida panas bumi yaitu klorida (Cl) dan Boron (B). Unsur Boron dalam fluida panas bumi dapat menunjukkan tingkat kematangan (*maturity*) dari sistem panas bumi. Sifat volatilitas Boron akan menyebabkannya teruapkan selama tahap awal pemanasan

sehingga fluida dari sistem panas bumi yang lebih tua akan memiliki kandungan unsur B (juga As, Sb dan Hg) yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem panas bumi yang lebih muda. Perbandingan Cl terhadap B yang rendah juga dapat mengindikasikan bahwa B berasal dari sedimen yang kaya akan material organik (**Gambar 3**).

4.4. Grafik Isotop ^{18}O vs Deuterium

Hasil analisis Isotop ^{18}O dan ^2H dari 4 sampel air, yaitu air panas Citando 1, air panas Citando 2, Citando 3, dan air dingin Cikendi, pada Tabel 3.4. Hasil analisis konsentrasi ^{18}O dan ^2H , dinyatakan dalam satuan ‰ (per mil) untuk nilai $\delta^{18}\text{O}$ dan nilai $\delta^2\text{H}$. Pada umumnya nilai rasio yang diperoleh dari masing-masing sampel air di *plotting* pada grafik δD terhadap $\delta^{18}\text{O}$, menggunakan garis *Meteoric Water Line* (MWL) menggunakan persamaan $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 14$. Isotop Oksigen 18 air dingin -7,89) ‰, dan air panas -7,20 - (-3,81) ‰. Isotop Deuterium air dingin -45,30 ‰, dan air panas - 40,20 - (- 40,00) ‰. *Plotting* hasil analisis isotop pada grafik δD terhadap $\delta^{18}\text{O}$ (**Gambar 4**), memperlihatkan posisi air panas Citando 2, dan air panas Citando 3, terletak di sebelah kanan dari garis *Meteoric Water Line* (MWL), indikasi adanya interaksi fluida panas dengan batuan yang dilaluinya telah memperkaya isotope oksigen 18, sedangkan air panas Citando 1 dan air dingin Cikendi terletak pada garis MWL, sebagai indikasi pengaruh pencampuran dengan air permukaan.

4.5. Pendugaan Suhu Bawah Permukaan.

Salah satu informasi penting yang diharapkan dapat diperoleh melalui penyelidikan geokimia panas bumi adalah suhu bawah permukaan (suhu reservoir).

Penggunaan masing-masing pendekatan tersebut dilakukan didasarkan pada jenis dan kondisi manifestasi yang dijumpai di lapangan. Pada dasarnya penggunaan geotermometer ion/senyawa terlarut dilakukan dengan menggunakan beberapa asumsi dasar antara lain sebagai berikut (Nicholson, 1993) :

- Konsentrasi ion/senyawa yang digunakan dalam geotermometer hanya dipengaruhi oleh reaksi fluida dan batuan yang dikontrol oleh suhu.
- Keterdapatannya yang melimpah dari mineral atau senyawa terlarut pada saat terjadinya reaksi antara fluida dan batuan.
- Reaksi dalam reservoir dianggap mencapai kesetimbangan.
- Fluida mengalir dengan cepat menuju permukaan sehingga tidak ada reaksi kesetimbangan lainnya ketika fluida telah meninggalkan reservoir.
- Tidak ada pencampuran atau pelarutan fluida reservoir tersebut.

Berdasarkan perhitungan geotermometer silika baik pada kondisi *conductive cooling* dan *adiabatic cooling*, menunjukkan bahwa suhu reservoir daerah panas bumi Malingping terlalu rendah hanya sekitar 100 °C.

Hasil penghitungan dengan geotermometer Na-K terhadap sampel yang ada menunjukkan temperatur sekitar 156-160 °C.

Mengingat temperatur manifestasi dipermukaan paling tinggi 54,7 °C, sinter karbonat yang tipis, dan tipe air air sulfat, pH netral terletak pada zona *partial equilibrium*, maka temperatur reservoir di daerah penyelidikan. Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer Na/K, adalah sekitar **160 °C**, termasuk temperatur medium.

5. Geokimia Tanah

5.1. Sebaran CO₂ udara tanah.

Konsentrasi CO₂ tanah bervariasi dari terendah 0,12% sampai dengan 3,18%. Variasi CO₂ Udara tanah, memberikan nilai *background* 1,64%, nilai *threshold* 2,20%, dan nilai rata-rata 1,09%. Peta distribusi nilai CO₂ Udara tanah, memperlihatkan anomali tinggi terdistribusi memanjang dari bagian utara ke selatan di bagian tengah, serta di bagian timur daerah penyelidikan. Konsentrasi CO₂ antara 1,0-1,5 % terdistribusi di bagian baratdaya, tengah, selatan, dan bagian timur daerah penyelidikan.

5.2. Sebaran Merkuri (Hg) Tanah

Konsentrasi Hg tanah setelah dikoreksi oleh nilai konsentrasi H₂O⁻, bervariasi dari nilai terendah 33 ppb sampai 3161 ppb. Variasi Hg tanah memberikan nilai *background* 947 ppb, nilai *threshold* 1412 ppb, dan nilai rata-rata 482 ppb. Kandungan Hg di daerah penyelidikan Malingping ini, memperlihatkan seperti pada Peta distribusi, konsentrasi Hg > 900ppb terdistribusi memanjang di sebelah utara, sedangkan 500-900 ppb terdistribusi lebih luas di bagian utara dan membentuk spot memanjang berarah baratlaut-tenggara daerah penyelidikan, Tingginya anomali Hg tanah di bagian utara diperkirakan oleh proses hidrotermal fosil, yang diindikasikan oleh proses mineralisasi dan batuan ubahan yang ditemui di daerah penyelidikan.

6. Pembahasan

Batuan tertua yang ada di daerah penyelidikan adalah batuan Sedimen yang secara regional termasuk dalam formasi Bojongmanik yang diendapkan di laut (*marine*). Batuan vulkanik berumur Miosen

Tengah tersingkap di permukaan di bagian barat daerah penyelidikan. Satuan batuan vulkanik adalah berupa tubuh-tubuh kubah lava andesitik hingga basaltik dan satuan jatuhan piroklastik produk G. Krakatau.

Di beberapa tempat batuan beku yang membentuk kubah-kubah lava ini telah mengalami proses ubahan yang sangat intensif di masa lalu (*fossil system*), dari hasil analisis *fission track* menunjukkan bahwa umur satuan batuan ini adalah $1,2 \pm 0,2$ tahun atau pada Kala Plistosin.

Struktur geologi yang utama pengontrol terbentuknya manifestasi Malingping diperkirakan adalah hasil perpotongan antrara struktur-struktur sesar geser yang berarah baratlaut-tenggara dengan struktur sesar geser yang berarah timurlaut-baratdaya. Akibat perpotongan dua sesar ini membentuk zone bokaan yang bersifat *extension* yang merupakan celah bagi pembentukan mata air panas Citando.

Mata air panas, manifestasi panas bumi lainnya berupa batuan ubahan yang didominasi oleh silisifikasi dan mineral lempung. Mineral lempung berupa illite, monmorilonit dan kaolin cukup mendominasi kandungan mineral lempung di batuan ubahan. Selain itu juga terdapat gypsum (CaSO_4). Keberadaan gypsum diperkirakan yang mempengaruhi konsentrasi air panas dimana kandungan SO_4 nya relatif tinggi.

Semua mata air panas di Malingping termasuk *partial equilibrium*, dan tipenya termasuk dalam tipe sulfat-klorida. Tingginya kadar sulfat pada air panas diperkirakan sebagai akibat dari proses pelarutan mineral-mineral sulfat (anhidrit atau gipsum), hal ini ditunjang

dengan nilai pH air panas yang relatif netral, sedangkan klorida yang terlarut diperkirakan berasal dari kedalaman atau reservoir.

Analisis isotop stabil dalam grafik Oksigen-18 terhadap Deuterium menunjukkan adanya pengkayaan Oksigen-18 pada air panas, diperkirakan sebagai akibat adanya interaksi antara batuan dengan fluida panas di reservoir.

Nilai geotermometer dari air panas diperoleh dari geotermometer air Na-K yaitu sekitar **160 °C** atau medium temperatur.

Daerah prospek yang dihasilkan berdasarkan data geologi, yaitu zone perpotongan struktur, yang diperkirakan akan menghasilkan zone permeabel dengan luas sekitar 4 km², sehingga sumber daya panas bumi yang terkandung di daerah panas bumi Malingping diperkirakan 13 MWe dan termasuk dalam katagori sumber daya hipotetis.

7. Kesimpulan

Morfologi daerah penyelidikan terdiri dari perbukitan bergelombang, perbukitan kubah lava dan pedataran, dimana pembentukan bentang alam ini dikontrol oleh litologi penyusunnya. Litologi yang mendominasi daerah penyelidikan adalah batuan sedimen yang berumur Tersier, di beberapa tempat diterobos oleh aktivitas vulkanisme yang berupa tubuh-tubuh kubah lava berkomposisi basaltik hingga andesitik.

Proses hidrotermal diperkirakan bersamaan dengan aktivitas terbentuknya tubuh kubah lava dengan umur $1,2 \pm 0,1$ juta tahun, yang menghasilkan zone ubahan silisifikasi dan sebagian kecil argilik.

Struktur geologi yang terbentuk adalah berupa struktur sesar geser, lipatan antiklin dan struktur sesar naik. Struktur-struktur geologi ini yang mengontrol keberadaan manifestasi panas bumi di daerah penyelidikan.

Konsentrasi senyawa kimia pada Air panas di daerah Malingping termasuk tipe sulfat, terletak pada zona *partial equilibrium*, indikasi reaksi mencapai kesetimbangan, dengan perbandingan Li-B lebih kecil dari pada klorida, pengkayaan Oksigen-18 dari isotop cukup tidak bisa membedakan dengan posisi air dingin. Temperatur bawah permukaan yang diperkirakan berhubungan dengan reservoir panas bumi diperoleh dari geotermometer Na/K sebesar **160 °C** termasuk ke dalam temperatur sedang.

Anomali konsentrasi Hg tanah tinggi memanjang di bagian utara (pengaruh proses hidrotermal fosil dan mineralisasi harus dipertimbangkan), sedangkan anomali konsentrasi tinggi CO₂ udara tanah memperlihatkan anomali tinggi membentuk spot-spot kecil terdistribusi berarah barat-laut-tenggara di daerah penyelidikan anomaly ini diperkirakan akibat pengaruh humus di perkebunan.

Sumber daya panas bumi yang terkandung di daerah panas bumi Malingping diperkirakan 13 MWe dan termasuk dalam katagori sumber daya hipotetis.

8. Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional, 2000., Angka Parameter Dalam Estimasi Potensi energi panas bumi, SNI 13- 6482- 2000.

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.

Gonviantini, R., 1981, Determination of Isotope Composition of Natural Water, Stable Isotope hydrology, D and ¹⁸O in the water Circle Technical Report series No. 210 IAEA p. 60-69.

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

Kooten , V., and Gerald, K., 1987, Geothermal Exploration Using Surface Mercury Geochemistry, *Journal of volcanology and Geothermal Research* , 31, 269-280.

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

Nicholson, K., 1993, Geothermal Fluids Chemistry&Exploration Technique, Springer Verlag, In. Berlin.

S. Koesoemadinata, Y. Noya dan D. Kadarisman, 1994, Peta Geologi Lembar Ruteng, Banten, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Tim Survei Pendahuluan Geologi dan Geokimia Daerah Kabupaten Lebak - Banten, 2013, Laporan Survei Pendahuluan Geologi dan Geokimia Daerah Kabupaten Lebak - Banten , Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

Tim Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Energi, 2013, Laporan Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Energi, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.

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

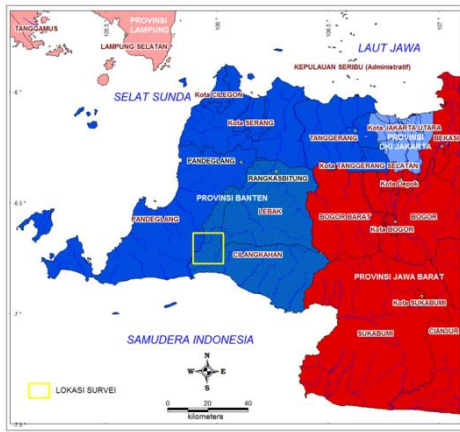
Fournier, R.O., 1981, Application of Water Geochemistry Geothermal Exploration and Reservoir Engineering, "Geothermal System: Principles and Case Histories", John Willey & Sons, New York.

Giggenbach, W.F., and Goguel, 1988, Methods for the collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas samples, Petone New Zealand.

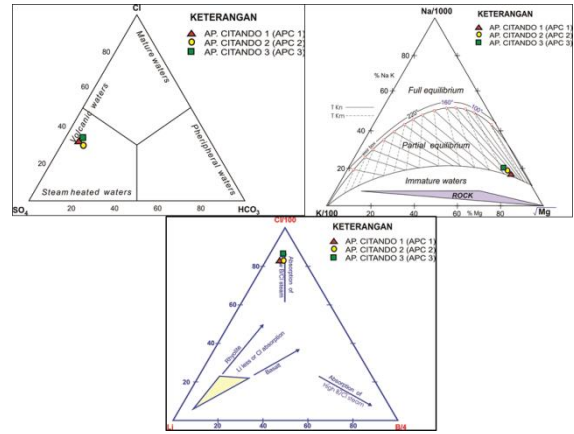
Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg-Ca Geo-Indicators, *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.

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

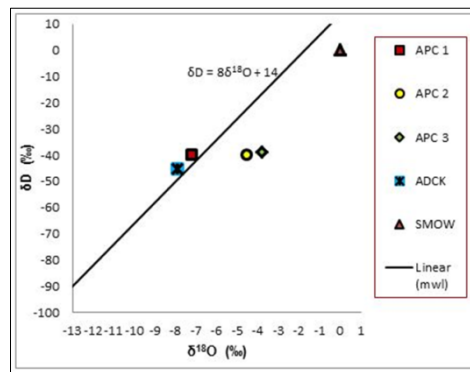
Mahon K., Ellis, A.J., (1977), Chemistry and Geothermal system, Academic Press, Inc. Orlando.



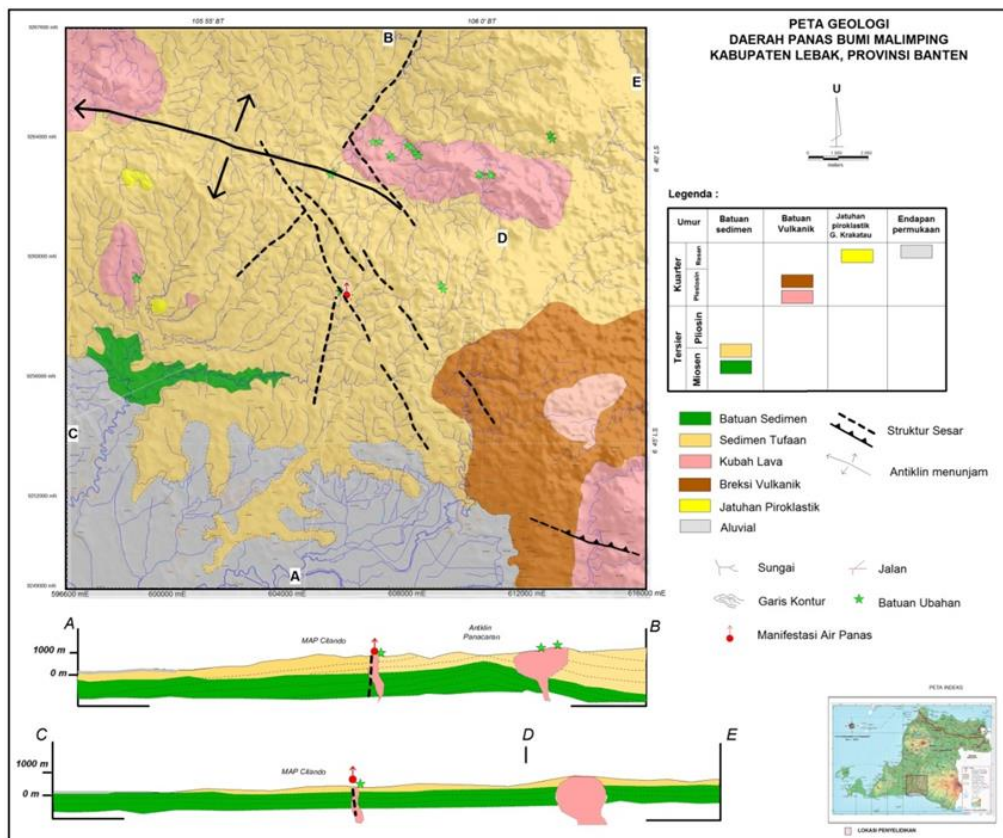
Gambar 1. Peta lokasi daerah penyelidikan



Gambar 3. Diagram segitiga fluida air panas



Gambar 4. Grafik isotop O¹⁸ vs Deuterium



Gambar 2. Peta geologi daerah penyelidikan