

GEOLOGI DAN GEOKIMIA DAERAH PANAS BUMI BONJOL KABUPATEN PASAMAN, SUMATERA BARAT

Dedi Kusnadi, Dikdik Risdianto, Sutoyo

Kelompok Program Penelitian Panas Bumi

SARI

Secara administratif lapangan Panas bumi Bonjol terletak di Kabupaten Pasaman, Provinsi Sumatera Barat, yang secara geografis terletak antara $100^{\circ} 8' 51,72''$ - $100^{\circ} 16' 27,48''$ BT dan $0^{\circ} 3' 46,08''$ LU - $0^{\circ} 3' 43,2''$ LS.

Indikasi permukaan daerah panas bumi Bonjol dicirikan oleh adanya fosil alterasi dan pemunculan airpanas di empat lokasi yaitu airpanas Padang Baru yang dikontrol oleh sesar Padang Baru dan airpanas Sungai Limau, Takis dan Kambahan dikontrol oleh sesar Takis dengan temperatur antara $49,7 - 87,9^{\circ}\text{C}$. Semua air panas di daerah Bonjol termasuk kedalam tipe air klorida, terletak pada *partial equilibrium*, sebagai indikasi *hot water dominated*.

Sistem panas bumi di daerah ini diperkirakan mempunyai sumber panas di dua lokasi yaitu dibawah Bukit Binuang dengan produk batuan berkomposisi andesitik dan tubuh intrusi (*laccolith ?*) di bawah air panas S. Takis yang berada pada suatu zona depresi yang membentuk graben.

Temperatur bawah permukaan yang berhubungan dengan reservoir panas bumi, diperkirakan sekitar 180°C , termasuk tipe temperatur sedang berdasarkan persamaan geotermometer SiO_2 dan NaK. Areal prospek diperkirakan berada di daerah depresi, memanjang mulai dari airpanas Takis, Sungai Limau sampai ke airpanas Padang Baru dengan luas daerah prospek $\pm 7,5 \text{ km}^2$.

PENDAHULUAN

Pulau Sumatera merupakan pulau kedua terpadat penduduknya setelah Pulau Jawa. Permintaan pasokan energi listrik semakin lama cenderung semakin besar seiring bertambahnya jumlah penduduk sedangkan pasokan tak seimbang dengan pertumbuhan permintaan, sehingga perlu dilakukan pengembangan sumber energi listrik baru. Untuk mengantisipasi hal tersebut Kelompok Program Penelitian Panas Bumi, Pusat Sumber Daya Geologi, ditahun 2007 mengadakan survey terpadu di Daerah Panas Bumi Bonjol.

Daerah panas bumi Bonjol terletak di Kabupaten Pasaman provinsi Sumatera Barat, berjarak ± 250 km sebelah utara Kota Padang dengan jarak tempuh 5 jam melalui darat. Secara geografis terletak pada garis khatulistiwa yaitu antara $100^{\circ} 8' 51,72''$ - $100^{\circ} 16' 27,48''$ BT dan $0^{\circ} 3' 46,08''$ LU - $0^{\circ} 3' 43,2''$ LS, dengan luas areal penyelidikan $14 \times 14 \text{ km}^2$ (Gambar 1).

Lokasi penyelidikan terdapat di daerah yang berketinggian antara 100 - 1160 m diatas permukaan laut, dengan curah hujan antara 519 -

392 mm pertahun, bersuhu udara relatif sejuk dengan kondisi tanah yang subur untuk pertanian. Tataguna lahan di lokasi penyelidikan terdiri dari Hutan Lindung, Hutan Suaka Alam dan Wisata serta Lahan Kegunaan Lain.

MORFOLOGI

Morfologi daerah penyelidikan terdiri dari tiga satuan morfologi, yaitu Perbukitan berlereng terjal, Perbukitan berlereng sedang dan Pedataran.

Morfologi perbukitan berlereng terjal terletak di sebelah timur dan barat daerah penelitian menempati 40% daerah penyelidikan, berelief kasar dan berlereng terjal serta memanjang, lembah sungai umumnya berbentuk "V" menandakan erosi vertikal lebih dominan dari pada lateral.

Satuan Perbukitan berlereng sedang, menempati $\pm 50\%$ daerah penyelidikan, terdapat di bagian tengah hingga ke bagian barat lokasi penyelidikan, berelevasi 300 - 1500 m diatas muka laut, lembah sungai berbentuk "V" hingga "U" menandakan tingkat erosi lateral sudah mulai nampak. Satuan

ini tersusun oleh batuan vulkanik dan sediment formasi.

Satuan Pedataran, menempati \pm 10% daerah penyelidikan, terletak di bagian tengah dan selatan lokasi penyelidikan dengan kemiringan lereng antara 0 – 5°, lembah sungai berbentuk “ U “ yang di beberapa tempat mempunyai *meander*, menandakan erosi lateral lebih dominan. Satuan ini terbentuk di daerah depresi Bonjol (graben) yang terbentuk sebagai hasil pergerakan dari sesar Sumatera (SFS).

LITOLOGI

Litologi daerah penyelidikan didominasi oleh batuan Sedimen dan vulkanik, berupa batuan beku dan aliran piroklastik. Berdasarkan ciri-ciri makroskopis dan urutan genesanya, litologi di daerah penyelidikan terbagi menjadi 13 (tiga belas) satuan batuan. Urutan dari tua ke muda adalah :

a). Satuan Sedimen Formasi Sihapas (Tms)

Satuan batuan ini berada di bagian timur laut daerah penyelidikan dengan luas sekitar 15% dari luas daerah penyelidikan. Litologi satuan ini terdiri dari konglomerat, serpih berkarbon, batulanau, dan batupasir kuarsa. Singkapan batuanya sangat kompak, keras, dan di beberapa tempat dijumpai adanya sisipan batubara. Umumnya satuan ini telah terkena struktur kuat yang ditandai oleh banyaknya kekar-kekar dengan bidang perlapisan (*strike*) yang acak dan kemiringan (*dip*) yang relatif terjal. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen.

b). Satuan Aliran Lava Tua (Tmv)

Satuan ini berada di bagian tengah-utara daerah penyelidikan. Singkapan batuanya sebagian telah mengalami pelapukan yang cukup kuat dan di beberapa tempat telah mengalami ubahan/mineralisasi, terdapat penambangan emas rakyat di sekitar Ds. Pemacikan. Satuan batuan ini terkena struktur sesar yang berarah barat daya-timur laut, yaitu sesar Takis yang mengontrol pemunculan mata air panas Takis, Sungai Limau, dan Sungai Langkuik/Kambahan.

Satuan ini merupakan batuan vulkanik tertua di daerah penyelidikan berupa aliran lava berkomposisi andesitik, sebagian memperlihatkan struktur kekar berlembar (*sheeting joint*) tersingkap baik di sekitar kawasan hutan lindung Bukit Baringin. Secara megaskopis batuan berwarna abu-abu sedang, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas dan piroksen tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Sedangkan

batuan ubahannya berwarna putih-kecoklatan, terdapat urat-urat kuarsa, silifikasi, piritisasi. Berdasarkan analisis petrografi batuan ini berjenis Andesit Piroksen. Satuan aliran lava tua ini diperkirakan berumur Miosen.

c). Satuan Aliran Lava Bukit Malintang (Tmbm)

Satuan ini menempati bagian timur daerah penyelidikan. Satuan batuan ini disusun oleh aliran lava dasitik yang berumur relatif sama dengan satuan lava tua. Batuanya sebagian besar telah mengalami pelapukan yang intensif dan ubahan/mineralisasi, juga terdapat penambangan emas yang dikelola secara tradisional oleh penduduk setempat. Singkapan batuan yang relatif masih segar dijumpai di bagian lereng barat Bukit Malintang, berwarna abu-abu terang, masif, terkekarkan, banyak dijumpai urat-urat yang terisi kuarsa, porfiritik halus. Berdasarkan hasil analisis sayatan tipis batuan ini berjenis Dasit. Satuan batuan ini terpotong oleh dua struktur sesar normal yang berarah relatif barat laut-tenggara, yaitu sesar Malintang dan sesar Bonjol membentuk sesar tangga (*step fault*). Satuan aliran lava Bukit Malintang ini diduga berumur Miosen.

d). Satuan Aliran Lava 1 Gunung Baringin (Q_{1br})

Satuan batuan ini berada di bagian barat daya daerah penyelidikan, tersingkap baik di sekitar Desa Alahan Mati yang membentuk punggung memanjang berlereng sedang, relatif segar (*fresh*), masif, keras, di beberapa tempat dijumpai kekar-kekar dan pelapukan yang cukup kuat. Satuan batuan ini terkena struktur sesar normal Alahan Mati yang berarah barat laut-tenggara yang diduga merupakan dinding barat zona depresi di daerah penyelidikan.

Pengamatan megaskopis batuan di lapangan, satuan ini merupakan aliran lava, berjenis andesitik, abu-abu sedang, porfiritik halus-sedang, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen yang tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan analisis petrografi batuan ini berjenis Andesit Piroksen. Pusat erupsi diperkirakan berasal dari G. Baringin yang berada di sebelah luar bagian barat daerah penyelidikan dan diduga berumur kuartar Awal.

e). Satuan Aliran Lava 2 Gunung Baringin (Q_{2br})

Satuan batuan ini menempati bagian barat-barat daya daerah penyelidikan, tersusun oleh batuan lava andesitik. Kondisi batuanya (*outcrop*) relatif

segar, masif dan di beberapa tempat telah mengalami pelapukan cukup kuat dan terkekarkan. Berdasarkan pengamatan batuan di lapangan litologinya mempunyai kemiripan dengan lava 1 Gunung Baringin, hanya bertekstur relatif lebih kasar dan di beberapa tempat dijumpai struktur vesikuler yang diperkirakan merupakan bagian atas dari aliran lava 2 Gunung Baringin. Berdasarkan hasil analisis petrografi, satuan batuan ini berjenis Andesit Piroksen. Satuan batuan ini sebagian menutupi secara selaras satuan aliran lava di bawahnya, diperkirakan produk erupsi Gunung Baringin yang bersifat efusif dan diperkirakan berumur Kuartar Awal.

f). Satuan Sedimen Danau (Qs)

Satuan batuan ini menempati bagian tengah daerah penyelidikan, berupa batuan sedimen danau yang terdiri perselingan batu pasir dengan lempung. Batuannya umumnya masih tersingkap baik, berwarna putih, abu-abu, kuning-kecoklatan, berlapis, kemiringan lapisan relatif datar ($<5^\circ$), kadang-kadang terdapat sisipan karbonan, terdapat fragmen-fragmen sisa-sisa ranting pohon yang ikut terendapkan. Satuan batuan ini diperkirakan mengisi zona depresi di bagian tengah daerah penyelidikan dan proses pengendapan atau sedimentasi mulai berlangsung pada kala Kuartar menutupi produk vulkanik yang relatif lebih tua.

g). Satuan Aliran Piroklastika Maninjau (Qpm)

Satuan batuan ini tersebar di bagian selatan daerah penyelidikan, banyak tersingkap di tebing-tebing bukit yang oleh penduduk setempat ditambang untuk pembuatan/campuran batu bata. Satuan batuan ini berupa aliran piroklastika yang didominasi oleh batuapung (*pumice*), berwarna putih, cukup padu, pemilahan baik, kemas tertutup, porositas baik, berukuran mulai dari abu hingga kerikil. Satuan batuan ini menutupi satuan sedimen danau (Qs) dan diperkirakan produk dari erupsi maninjau yang berada di selatan luar daerah penyelidikan. Satuan aliran piroklastika ini diduga berumur Kuartar.

h). Satuan Aliran Lava Bukit Gajah (Qlg)

Satuan batuan ini terletak di bagian barat laut daerah penyelidikan, berupa lava berjenis andesitik dan sebagian telah mengalami pelapukan kuat. Secara megaskopis batuan disusun oleh lava, berwarna abu-abu, struktur berlapis (*sheeting joint*), di beberapa tempat terkekarkan, bertekstur porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan

gelas vulkanik. Satuan batuan ini produk erupsi efusif Bukit Gajah dan diperkirakan berumur Kuartar.

i). Satuan Aliran Lava Bukit Tinggi (Qibt)

Satuan batuan ini menempati bagian barat laut daerah penyelidikan, singkapan batumannya banyak dijumpai di sekitar Ds. Watas, Koto Tangah, dan Pinang. Batumannya relatif masih segar dan sebagian dijumpai telah mengalami ubahan (fosil alterasi) menjadi mineral lempung (montmorilonit) berwarna abu-abu dan mineral pirit. Secara megaskopis satuan ini disusun oleh lava, berwarna abu-abu gelap, sangat vesikuler, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen, hornblende yang tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan hasil analisis petrografi satuan ini berjenis Andesit Basaltis. Satuan batuan ini diperkirakan produk efusif Bukit Tinggi yang berada disebelah barat laut di luar daerah penyelidikan dan diperkirakan berumur Kuartar.

j). Satuan Aliran Lava Bukit Simarabun (Ql_{1s})

Satuan batuan ini menempati bagian tenggara daerah penyelidikan, berupa bongkah-bongkah lava dan di beberapa tempat memperlihatkan struktur berlembar (*sheeting joint*), sebagian telah mengalami pelapukan kuat. Secara megaskopis batumannya berupa lava andesitik, berwarna ab-abu, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen yang tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan hasil analisis petrografi satuan batuan ini berjenis Andesit Piroksen dan diperkirakan hasil erupsi Bukit Simarabun yang terletak disebelah tenggara di luar daerah penyelidikan dan diduga berumur Kuartar.

k). Satuan Aliran Lava 2 Bukit Simarabun (Ql_{2s})

Satuan batuan ini terletak di bagian tenggara daerah penyelidikan tersusun oleh lava andesitik dengan struktur berlembar (*sheeting joint*) dan sebagian terlupakan. Secara megaskopis batumannya berupa lava andesitik, berwarna abu-abu, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen yang tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan hasil analisis petrografi satuan ini adalah Andesit Piroksen. Satuan batuan ini menutupi satuan aliran lava 1 Bukit Simarabun dan diduga berasal dari pusat erupsi yang sama, yaitu Bukit Simarabun. Satuan ini diperkirakan berumur Kuartar.

l). Satuan Aliran Lava 1 Bukit Binuang (Qlb)

Satuan batuan ini menempati bagian selatan-tengah daerah penyelidikan. Singkapan batuan relatif segar dan sebagian berupa bongkah-bongkah lava andesitik. Batuan berwarna abu-abu, porfiritik, fenokris terdiri dari plagioklas, piroksen yang tertanam dalam masa dasar mikrokristalin dan gelas vulkanik. Berdasarkan analisis petrografi satuan ini tersusun oleh Andesit Piroksen. Satuan batuan ini berdasarkan hasil dating dengan metode *fission track* diperoleh umur absolut $1,3 \pm 0,1$ juta tahun yang lalu atau pada kala Plistosen dan diduga sumber panas berasal dari kantung-kantung sisa magma di bawah kerucut Bukit Binuang dengan kedalaman yang tidak diketahui.

m). Satuan Aluvium (Qa)

Satuan batuan ini merupakan endapan skunder hasil rombakan batuan yang sebelumnya diendapkan, terdiri dari material lempung, pasir, bongkah-bongkah lava, konglomerat yang bersifat lepas-lepas. Batuan tersebar di sepanjang tepi-tepi sungai dan dasar sungai. Satuan aluvial ini berumur Kuartar hingga sekarang. Gambar 2 memperlihatkan penyebaran litologi di daerah penyelidikan.

STRUKTUR GEOLOGI

Berdasarkan hasil penyelidikan di lapangan, analisis citra *landsat* serta peta topografi terhadap gejala-gejala struktur di permukaan seperti pemunculan mata air panas, kelurusan lembah dan punggungan, kekar-kekar, bidang sesar, dan zona hancuran batuan dll., maka di daerah penyelidikan terdapat lima struktur sesar, yaitu:

a) Sesar Malintang

Struktur sesar ini berarah relatif barat laut-tenggara, indikasi di lapangan ditunjukkan oleh adanya kelurusan punggungan bukit memanjang, kekar-kekar, hancuran batuan dan jalur mineralisasi sepanjang Bukit Malintang. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bagian turun berada di sebelah barat daya, sesar ini terjadi akibat gaya yang bersifat tarikan (*extension*) yang berarah timurlaut-baratdaya.

b) Sesar Bonjol

Struktur sesar ini berarah barat laut-tenggara dan merupakan sesar normal. Indikasi di lapangan ditunjukkan oleh adanya kelurusan punggungan bukit memanjang, kekar-kekar, hancuran batuan, dan batuan ubahan/alterasi. Sesar Bonjol ini membentuk sesar tangga (*step fault*) dengan sesar

Malintang, yang keduanya berperan dalam terbentuk jalur mineralisasi di daerah penyelidikan.

c) Sesar Alahan Mati

Sesar ini berada di bagian barat daya daerah penyelidikan berarah arah barat laut-tenggara berupa sesar normal dengan bagian sebelah timur laut relatif turun. Indikasi di lapangan berupa zona hancuran batuan, kekar-kekar, kelurusan punggungan, dan belokan sungai. Sesar ini membentuk graben dengan struktur sesar Bonjol yang berada di sebelah timur daerah penyelidikan.

d) Sesar Padang Baru

Berarah barat laut-tenggara, berada di bagian tengah daerah penyelidikan. Sesar ini berupa sesar normal dengan blok barat daya relatif bergerak turun. Indikasi sesar ini di permukaan dicirikan oleh adanya mata air panas Padang Baru, daerah hancuran, kekar-kekar, dan kelurusan punggungan.

e) Sesar Takis

Struktur sesar ini berarah barat daya-timur laut yang menempati bagian tengah daerah penyelidikan. Indikasi sesar ini di permukaan sangat jelas sekali diantaranya adanya kelurusan pemunculan mata air panas, yaitu air panas Takis, air panas sungai Limau, dan air panas sungai Langkuik/Kambahan, adanya zona hancuran, kekar-kekar, air terjun (bidang sesar), dan batuan ubahan/mineralisasi. Struktur sesar ini berjenis sesar normal dengan bagian tenggara relatif bergerak turun terhadap bagian barat laut.

MANIFESTASI PANAS BUMI

a. Mata air panas Padang Baru

Mata air panas ini di jumpai di Kp. Padang Baru dengan koordinat UTM $x= 635.833$ mT dan $Y= 9.997.416$ mS, muncul pada satuan batuan sedimen danau/depresi. Temperatur air panas $\pm 49.7^{\circ}\text{C}$, pH= 6.5, jernih, terdapat endapan air panas/sinter karbonat (travertin). Pemunculan mata air panas ini dikontrol oleh sesar Padang Baru.

b. Mata air panas Sungai Takis

Mata air panas ini muncul di lembah Sungai Takis, pada koordinat UTM $x= 633.504$ mT dan $Y= 10.000.611$ mU, hadir berkelompok dengan temperatur $\pm 87,9^{\circ}\text{C}$, pH= 6,9, jernih, beruap di permukaannya, banyak dijumpai endapan travertin di sekitar mata air panas dan dijumpai endapan travertin yang sudah memfosil, berwarna hitam, keras dengan ketebalan beberapa meter. Pemunculan mata air panas ini dikontrol oleh sesar

Takis dan membentuk kelurusan mata air panas yang berarah barat daya-timur laut.

c. Mata air panas Sungai Limau

Mata air panas ini terletak pada koordinat UTM x= 634.409 mT dan Y= 10.001.219 mU, muncul di aluvium sungai Limau, hadir berkelompok dengan temperatur $\pm 73,5^{\circ}\text{C}$, pH= 7,3, jernih, terdapat bualan, beruap, dan terdapat sedikit sinter karbonat (travertin). Pemunculan mata air panas sungai Limau ini dikontrol oleh struktur geologi yang sama dengan mata air panas sungai Takis, yaitu: sesar Takis.

d. Mata air panas Sungai Langkuik/Kambahan

Mata air panas ini terletak pada koordinat UTM x= 635.716 mT dan Y= 10.003.684 mU. Temperatur air panas $\pm 73,4^{\circ}\text{C}$, pH= 7,5, jernih, tidak dijumpai endapan travertin. Seperti halnya pemunculan mata air panas sungai Takis dan Sungai Limau, mata air panas sungai Langkuik/Kambahanpun dikontrol oleh struktur sesar Takis.

e. Batuan Ubahan

Batuan ubahan karena pengaruh hidrotermal ditemukan di bagian barat laut daerah penyelidikan atau sebelah utara Bukit Gajah, sekitar kelompok mata air panas Takis, dan di lereng barat punggung memanjang Bukit Malintang atau di sekitar penambanan emas rakyat. Singkapan batuanya berwarna putih, abu-abu, sedikit kuning-kecoklatan, dominan mineral lempung dan dijumpai sedikit mineral pirit, dengan intensitas alterasi sangat kuat. Berdasarkan analisis PIMA diperoleh mineralogi sebagai berikut : montmorilonit, halosit, muskovit, paragonit dan illite.

SEBARAN MERKURI (Hg)

Konsentrasi Hg tanah setelah dikoreksi oleh nilai konsentrasi H_2O^- , bervariasi mulai dari konsentrasi terendah 4 ppb sampai dengan konsentrasi tertinggi 586 ppb. Variasi Hg tanah, memberikan nilai *background* 245 ppb, nilai *threshold* 363 ppb, dan nilai rata-rata 128 ppb. Peta distribusi nilai Hg tanah (gambar 5), memperlihatkan anomali tinggi > 250 ppb terletak di lokasi mata air panas Takis yang berada di bagian tengah daerah penyelidikan dan disekitar lokasi bukit binuang bagian selatan daerah penyelidikan.

SEBARAN CO_2 UDARA TANAH

Konsentrasi CO_2 tanah bervariasi dari terendah 0,03 % sampai dengan konsentrasi tertinggi 8.79 %. Variasi CO_2 Udara tanah, memberikan nilai *background* 2.03 %, nilai *threshold* 3.05 %, dan nilai rata-rata 1.00 %. Peta distribusi nilai CO_2 Udara tanah (gambar 6), memperlihatkan anomali tinggi > 2 % terletak dekat air panas Padang baru melebar ke bagian utara.

KARAKTERISTIK DAN TIPE AIR PANAS

Karakteristik dan tipe air panas (Tabel 1), yang dievaluasi dengan diagram segi tiga Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg, dan Cl-Li-B mengacu kepada Giggenbach (1988). Pada Gambar 4, mata air panas di daerah Bonjol : air panas Takis. Air panas Sungai Limau, Air panas Kambahan dan Air panas Padang Baru, termasuk tipe klorida. Konsentrasi klorida yang lebih tinggi dari pada konsentrasi SO₄ ataupun HCO₃, adanya indikasi *deep water*. Fluida uap panas tersebut, berhubungan dengan sumber panas bumi berinteraksi dengan batuan di sekitarnya terjadi pencampuran dengan air permukaan membentuk pemunculan mata air panas bersifat netral (pH = 6,50-7,50).

Pada diagram segitiga Na-K-Mg (gambar 4), posisi mata air panas Takis, mata air panas Sungai limau, dan dan mata air panas Kambahan, terletak pada *partial equilibrium*, sebagai indikasi manifestasi yang muncul ke permukaan dipengaruhi oleh interaksi antara fluida dengan batuan dalam keadaan panas sebelum bercampur dengan air permukaan (*meteoric water*). Kecuali air panas Padang Baru yang terletak pada *immature water*, Namun dari keempat posisi mata air panas pada diagram tersebut, terdapat pada garis lurus disekitar temperatur Na-K 180 °C.

Konsentrasi Isotop ¹⁸O dan ²H (D) dari empat sampel air panas (APT, APL, APPB dan APK) serta satu sampel air dingin (ADB). Gambar 3, memperlihatkan posisi sampel air panas, terletak pada posisi sebelah kanan yang sangat signifikan dari garis *meteoric water line* (¹⁸O shift), indikasi adanya pengkayaan oksigen 18 dari air panas tersebut, akibat reaksi substitusi oksigen 18 dari batuan dengan oksigen 16 dari fluida panas pada saat terjadi interaksi fluida panas dengan batuan sebelum muncul ke permukaan berupa mata air panas. Sedangkan air dingin Batu Ampa terletak pada garis *meteoric water line*, sesuai indikasi air permukaan.

GEO THERMOMETER

Dalam memperkirakan temperatur bawah permukaan berdasarkan data geokimia manifestasi panas bumi dari suatu daerah penyelidikan, dapat dipertimbangkan beberapa faktor, diantaranya adalah: manifestasi panas bumi temperatur air panas relatif tinggi, pH air netral dan tipe air panas termasuk air klorida. Pada kondisi demikian diasumsikan bahwa konsentrasi senyawa kimia terlarut secara kualitatif dan kuantitatif dalam air panas merupakan produk akhir dari proses yang alami.

Manifestasi panas bumi di daerah Bonjol, berhubungan dengan karakteristik fluida panas bertemperatur relatif tinggi, diantaranya berupa mata air panas Takis (87.9 °C), debit air panas 3 L/detik, pH netral, tipe klorida, terletak pada *partial equilibrium*, perlu didukung oksigen 18 shift dari isotop, sebagai indikasi telah terjadinya interaksi fluida panas dari dalam, sebelum muncul ke permukaan berupa mata air panas. Untuk memperkirakan temperatur bawah permukaan berdasarkan geotermometer SiO₂ Mengacu kepada Fournier 1981, menggunakan persamaan:

$$T^{\circ}\text{C} = (1309)/(5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$$

dan geotermometer NaK mengacu kepada Giggenbach, 1988 menggunakan persamaan berikut:

$$T^{\circ}\text{C} = (1390)/(\log \text{Na/K} + 1,75) - 273.15$$

Berdasarkan persamaan geotermometer SiO₂ dan NaK diatas diperoleh nilai temperatur 168 °C dan 188 °C, maka temperatur bawah permukaan di daerah Penyelidikan Bonjol adalah sekitar 180 °C yang termasuk kedalam tipe temperatur sedang.

FAKTOR KEHILANGAN PANAS

Besar kehilangan energi panas (heat loss) yang berasal dari mata air panas S. Takis, mata air panas S. Limau dan mata air panas S. Langkuik /Kambahan disajikan dalam Tabel di bawah ini :

Manifestasi Panas bumi	Kehilangan Panas (Heat Loss) (Watt)
Kelompok mata air panas S. Takis	718,83
Kelompok mata air panas S. Limau	363,02
Kelompok mata air panas S. Langkuik	94,25
Kelompok mata air	45,50

panas Padang baru	
Total energi panas yang hilang =	1.221,6

Total energi panas yang hilang (heat loss) di daerah panas bumi Bonjol sebesar ± **1.221,6 Watt** atau ± **1,2 KW_{thermal}**.

KESIMPULAN

- Manifestasi panas bumi di daerah penyelidikan berupa pemunculan kelompok mata air panas dengan temperatur berkisar 49.7 – 87.9°C dan ber-pH relatif netral (6.5 – 7.5) dan di sekitar air panas terdapat endapan karbonat (travertin).
- Morfologi daerah penyelidikan terdiri dari perbukitan berlereng sedang hingga terjal yang menempati hampir di seluruh bagian dan hanya bagian tengah yang merupakan pedataran
- Stratigrafi daerah penyelidikan disusun oleh 13 satuan batuan, yang terdiri dari dua satuan batuan sedimen, 10 satuan batuan vulkanik, dan satu satuan endapan permukaan/aluvium.
- Bukit Binuang diduga merupakan kerucut vulkanik termuda yang ada di daerah penyelidikan yang berumur 1.3 ± 0.1 juta tahun atau pada Kala Plistosen.
- Sumber panas diperkirakan terdapat di bawah Bukit Binuang yang berasal dari sisa kantong magma yang berada di bawahnya dengan kedalaman yang tidak diketahui.
- Struktur yang berkembang di daerah penyelidikan didominasi oleh sesar normal berarah baratlaut – tenggara.
- Kehilangan panas di permukaan (*heat loss*) di daerah penyelidikan sangatlah kecil, yaitu sekitar 1.221,6 Watt.
- Manifestasi panas bumi di daerah penyelidikan Bonjol terdiri dari batuan ubahan, air panas dan batuan ubahan, air panas bertemperatur maksimum 87.9 °C, pH netral.
- Air panas termasuk tipe air klorida, terletak pada *partial equilibrium*, sebagai indikasi *hot water dominated*. Adanya interaksi fluida panas dengan batuan perlu didukung oleh oksigen 18 shift dari sampel isotop.
- Temperatur bawah permukaan yang berhubungan dengan reservoir panas bumi, diperkirakan sekitar 180°C, termasuk temperatur sedang, menggunakan persamaan geotermo-meter SiO₂ dan NaK.
- Distribusi secara lateral pada kedalaman satu meter, tanah dan udara tanah pada kedalaman

satu meter, memperlihatkan anomali Hg > 250 ppb terletak di sekitar bukit binuang dan air panas takis, sedangkan CO₂ >2% terletak di sekitar lokasi air panas Padang Baru.

- Sistem panas bumi di daerah penyelidikan Bonjol, kemungkinan *up flow* tipe vulkanik, sumber panas terletak di Bukit Binuang membentuk kantong sumber panas baru disekitar lokasi mata air panas takis, dipengaruhi oleh batuan sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Program Penelitian Panas Bumi dan Pusat Sumber Daya Geologi yang telah memberikan ijin untuk menggunakan data hasil penyelidikan dalam penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh tim penyelidikan terpadu daerah Bonjol.

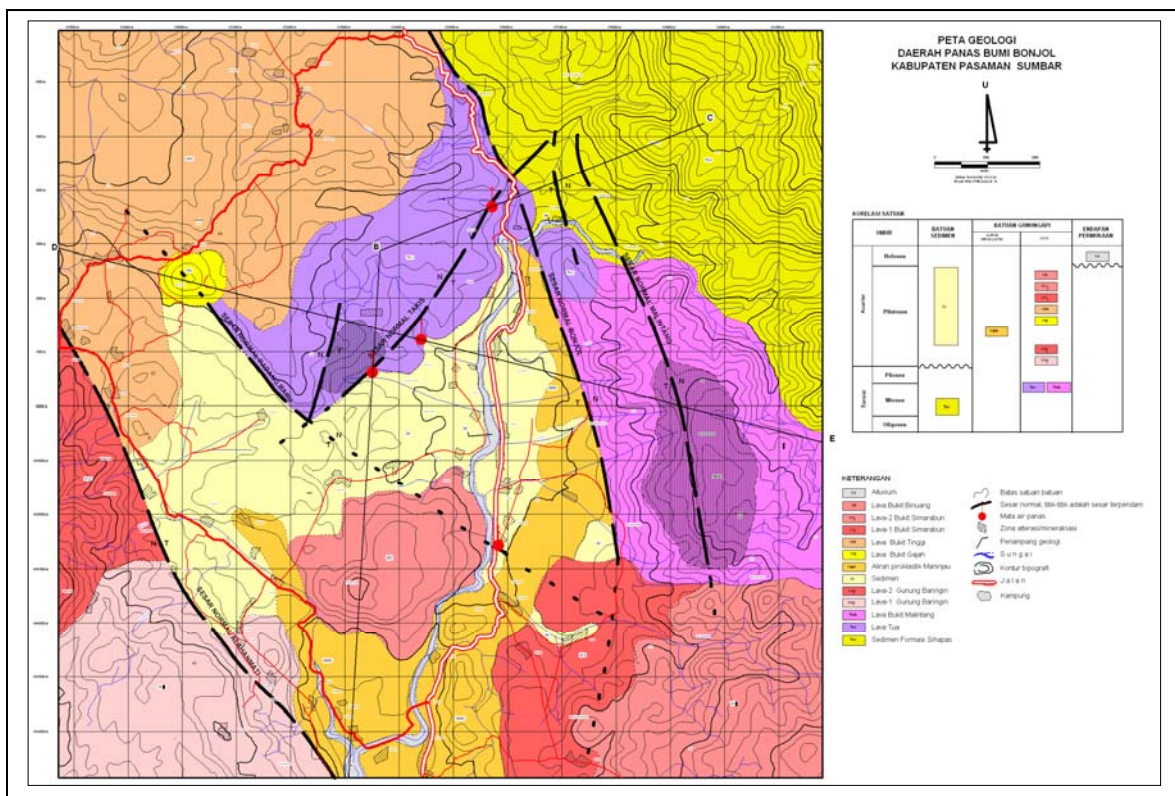
DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, N., 1972. Inventarisasi dan penyelidikan pendahuluan gejala panas bumi di daerah Sumatra Barat, bagian Proyek Survei Energi Geothermal, Dinas Vulkanologi, Direktorat Geologi, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 1998, SNI 13-5012-1998, Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia.
- Bemmelen, van R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. I A. The Hague. Netherlands.
- Distamben Kabupaten Pasaman, 2006. Potensi Energi Panas Bumi (Geothermal) Kabupaten Pasaman, Sumatera Barat.
- 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.
- Giggenbach, W.F., and Goguel, 1988, *Methods for the collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas samples*, Petone New Zealand.

- Kastowo, Gerhard W. Leo, dkk. 1996. Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Kooten, V., and Gerald, K., 1987, *Geothermal Exploration Using Surface Mercury Geochemistry*, *Journal of volcanology and Geothermal Research*, 31, 269-280.
- Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry & Exploration Technique* Springer Verlag, Inc. Berlin.
- Rock, N.M.S., dkk. 1983. Peta Geologi Lembar Lubuk Sikaping, Sumatera, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.



Gambar 1. Peta lokasi penyelidikan

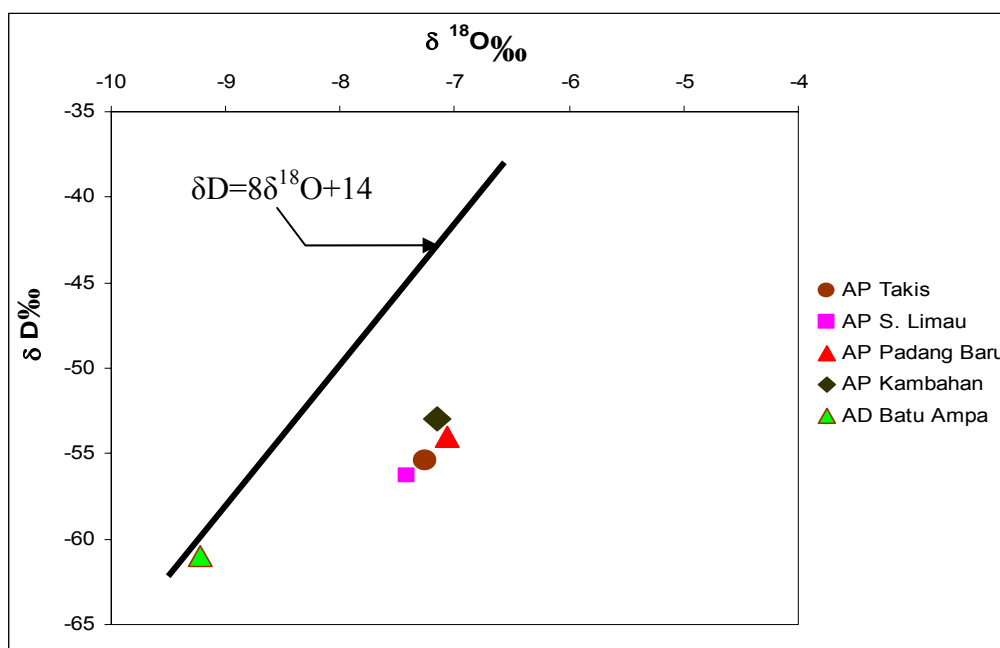


Gambar 2. Peta Geologi daerah panas bumi Bonjol

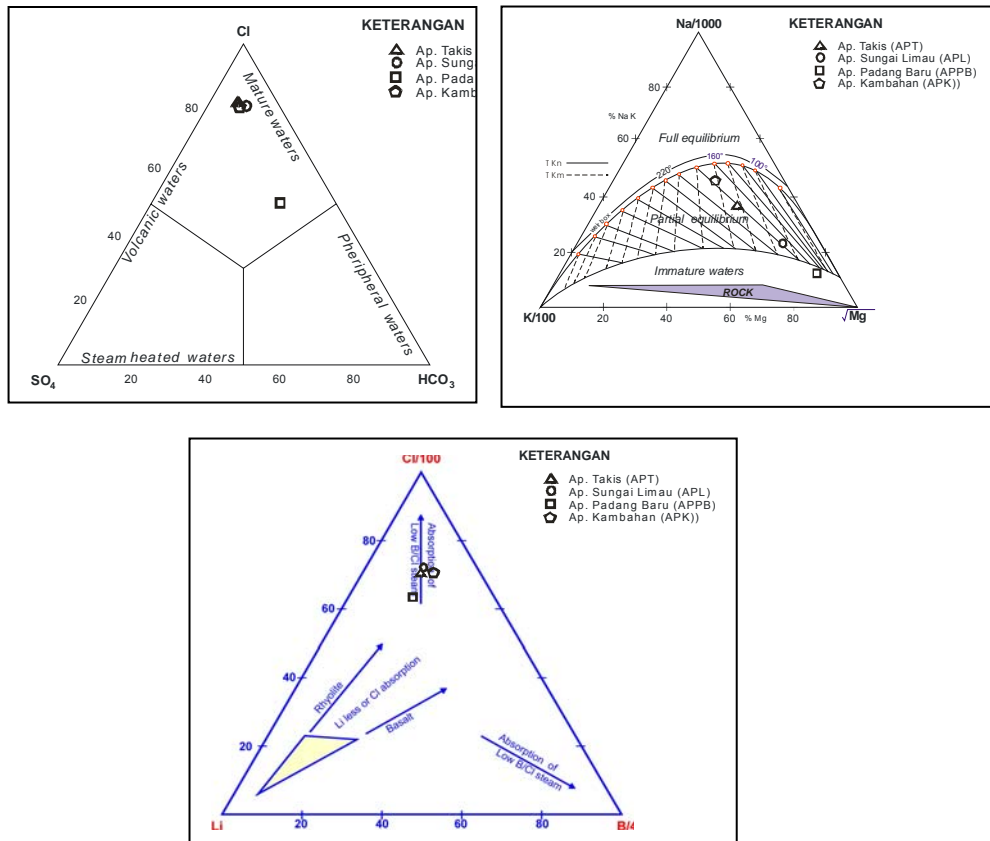
Tabel 1. Data analisis air geokimia Daerah Bonjol

PROCEEDING PEMAPARAN HASIL KEGIATAN LAPANGAN DAN NON LAPANGAN TAHUN 2007
PUSAT SUMBER DAYA GEOLOGI

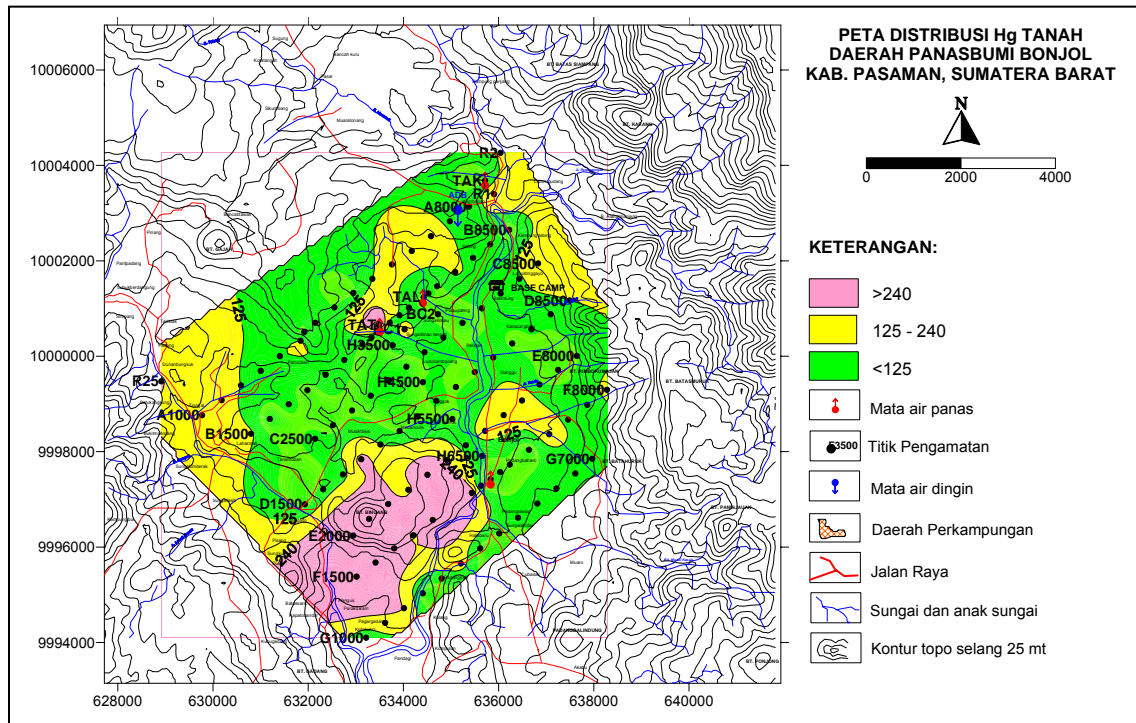
	AP. TAKIS	AP.S.LIMAU	AP. PDNG BARU	AP. KAMBAHAN	AD. BATU AMPA
Kode Contoh	APT	APL	APPB	APK	ADB
Elev.(m)	243	289	222	259	341
T(°C) air	87.9	73.5	49.7	73.4	25.2
T(°C) udara	28.6	30.6	29.0	27.4	25.2
pH	6.90	7.30	6.50	7.50	6.60
EC (μS/cm)	5300	4040	5430	2020	17
SiO ₂ (mg/L)	200.50	190.60	94.00	101.00	3.40
Al	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00
Fe	0.12	0.08	3.91	0.06	0.01
Ca	79.70	32.40	161.80	20.1	0.00
Mg	1.45	4.17	39.60	0.09	0.10
Na	917	698	964.00	378	0.47
K	50.00	36.36	50.90	19.20	0.35
Li	2.70	1.75	4.10	1.05	0.00
As	0.20	0.40	0.30	0.20	0.00
NH ₄	1.09	0.73	0.73	0.73	0.00
B	12.60	9.46	12.18	4.63	0.00
F	2.00	1.00	1.00	0.00	0.00
Cl	1512.12	1118.10	1336.86	580.48	0.00
SO ₄	213.57	114.15	327.97	61.73	0.00
HCO ₃	127.14	120.00	906.39	93.83	2.51
CO ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
meq cat	45.73	33.57	55.42	18.15	0.04
meq an.	49.29	35.93	59.44	19.20	0.04
% IB	-3.75	-3.41	-3.50	-2.81	-3.75



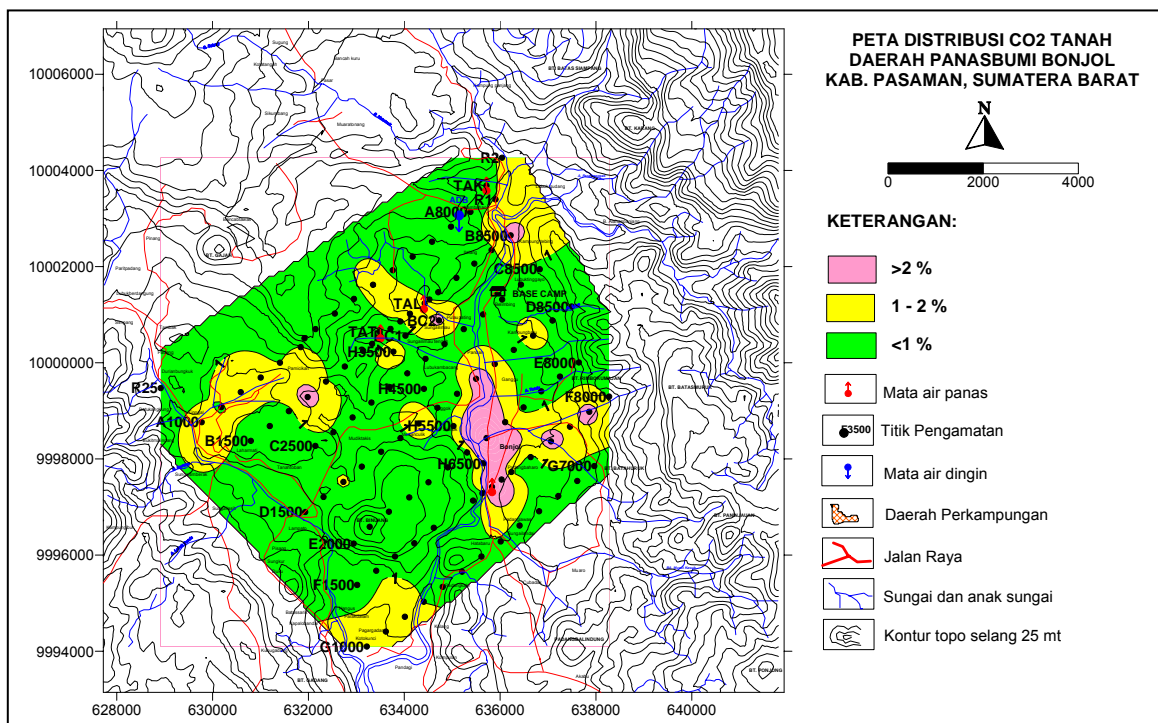
Gambar 3. Grafik $\delta^{18}\text{O}$ vs δD daerah panas bumi Bonjol



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



Gambar 5. Peta Distribusi Hg tanah daerah Bonjol



Gambar 6. Peta distribusi CO2 udara tanah daerah Bonjol