

**SURVEI PANAS BUMI TERPADU (GEOLOGI, GEOKIMIA DAN GEOFISIKA)  
DAERAH DOLOK MARAWA, KABUPATEN SIMALUNGUN - SUMATERA UTARA**

**Herry Sundhoro, Bakrun, Dendi Suryakusuma, Bangbang Sulaeman dan  
Timoer Situmorang**

**Kelompok Program Penelitian Panas Bumi**

**ABSTRACT**

The identification of hot fluids beneath Dolok Marawa is reflected by hot waters, in the elevation between 330 - 370 m asl, along the trending faults of northwest-southeast (N 320 - 330° E). Surface temperatures varies between 36,4 - 66,5° C, and neutral pH (6.57 - 7,63), its includes travertine deposits.

The prospective area is assumed by compiling of geological, geochemical, and geophysical surveys, which covers the area of about 5.5 km<sup>2</sup> width, in between of Tinggi Raja, Partulatula, Balakbak and Bahbotala faults. The geothermal reserves is approximately of 38 Mwe, at the assumption of > - 500 m depth of hot waters reservoir.

**ABSTRAK**

Indikasi adanya fluida panas di kedalaman Dolok Marawa berupa mataair panas pada patahan baratlaut - tenggara (N 320 - 330° E), di elevasi 330 - 370 m dpl, dengan suhu permukaan 36,4 - 66,5° C, pH netral (6.57 - 7,63), dan ada endapan sinter karbonat (*travertine*).

Luas daerah prospek di asumsikan dari kompilasi survai geologi, geokimia dan geofisika, yang terletak diantara sesar Tinggi Raja, Partulatula, Balakbak dan Bahbotala, seluas ± 5,5 km<sup>2</sup>. Potensi panas bumi di Tinggi Raja dikalkulasi ± 38 Mwe, berupa air panas dengan kedalaman zona reservoir > - 500 m.

**PENDAHULUAN**

Berdasarkan referensi di Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara terdapat mata airpanas di daerah Tinggi Raja, Kampung Bahoan-Desa Dolok Marawa, bersuhu ± 65° C, dengan pH netral.

Secara global ketersediaan energi panas bumi di Indonesia berasosiasi dengan daerah magmatik dan vulkanik sebagai sumber panasnya. Kepulauan Indonesia yang terletak di jalur gunungapi merupakan daerah berpotensi bagi terbentuknya energi panas bumi.

Di sepanjang pantai barat P. Sumatera berlanjut ke selatan P. Jawa, terus memanjang ke P. Bali dan Nusa Tenggara, kemudian berbelok ke utara ke arah P. Sulawesi, Kepulauan Maluku dan Kepulauan Philipina. Pembentukan busur vulkanik menjadi landasan akan besarnya potensi panas bumi yang terkandung di Indonesia. (Gbr 2).

Kebutuhan energi listrik di Kabupaten Simalungun akan terus meningkat, seiring kenaikan distribusi kepada konsumen berupa kebutuhan bagi bidang industri, jasa dan rumah

tingga, akibat adanya pertambahan jumlah penduduk dan perluasan wilayah pemukiman.

Dalam upaya memenuhi kebutuhan tenaga listrik itu Pemerintah Pusat melalui Pusat Sumber Daya Geologi telah melakukan survai terpadu energi alternatif panas bumi di Kampung Tinggi Raja, Desa Dolok Marawa, Kecamatan Silau Kahean, dengan metoda geologi, geokimia dan geofisika di dalam koordinat geografis di antara 98°44'46'' - 98°52'02'' BT dan 3°5'49'' - 3°12'03'' LS (Gbr 1).

Targetnya untuk menentukan struktur geologi, sumber panas (*heat-source*), tipe fluida, suhu reservoir, konfigurasi batuan dan struktur bawah permukaan, luas daerah prospek, nilai potensi cadangan, dan pemanfaatan fluida tersebut.

**METODE SURVEI**

Survai memakai 3 metoda, yaitu: geologi, geokimia dan geofisika dan difokuskan di mata air panas Tinggi Raja.

Pengamatan geologi menggunakan lintasan peta secara random, dengan memakai GPS/*Global Positioning System*. Data dan sampel batuan representatif dianalisis untuk menghasilkan simpulan. Sedangkan umur batuan selain diambil dari referensi Pusat Survei Geologi, dilakukan juga dating jejak belah (*fission track dating*).

Titik amat geokimia dan geofisika difokuskan di manifestasi, dengan spasi lintasan 1000 x 250 - 500 m, diukur arah tegak kepada struktur geologi dengan disesuaikan kondisi topografi.

Sampling airpanas dilakukan di 10 lokasi, yaitu Tinggi Raja, Partulatula, Panggaruan, Balakbak, Bahoan, Lakparan dan Bahbotala. Sedang 90 sampel tanah dan udara tanah di kedalaman 1 m dianalisis untuk mengukur konsentrasi Hg tanah dan CO<sub>2</sub> udara tanah, dengan penentuan anomali untuk indikasi daerah *up-flow*.

Penetapan tipe, sistim dan pengaruh lingkungan diuji dengan diagram Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>2</sub>, Cl/100-Li-B/4 dan Na/1000-K/100-√Mg. Geotermometer air panas untuk estimasi suhu, mengaplikasikan formula yang sesuai persyaratan kondisi fisik dan kimianya.

Survai geofisika memakai cara geo-magnet, gayaberat, geo-listrik dan head-on. Pengukuran Geo-magnet dilakukan di 272 titik (202 di lintasan dan 70 regional) dengan jarak 250-500 m. Pengamatan intensitas magnet memakai alat magnetometer tipe G-856, G-836 dan G-826 dengan ketelitian 0.1, 1.0 dan 10 *gamma*. Harga IGRF 45.210 *gamma* dan variasi harian dengan harga fluktuasi antara 45.125 - 45.212 *gamma*.

Survai Gaya berat untuk identifikasi struktur bawah permukaan, dilakukan di 268 titik (187 di lintasan dan 81 regional). Penentuan densitas batuan dilakukan dari sampel yang diambil di lapangan.. Harga rata-rata 2.6 gr/cm<sup>3</sup>.

Survai Geo-listrik memakai metoda *Schlumberger* bentangan simetris 2 arah. Pengukuran tahanan jenis semu memakai bentangan AB/2=250, 500, 750 dan 1000 m dan dibuat peta anomali. Bentangan representatif diambil AB/2=1000 m. Sedangkan penampang tahanan jenis semu dibuat di setiap lintasan.

Pengukuran Head-On dilakukan di 2 lintasan dengan interval titik ukur 100 m tegak lurus struktur, dan jarak elektroda C=4000 m.

## HASIL SURVEI

## GEOLOGI

**Stratigrafi**, hasil pemetaan menunjukkan ada 7 satuan batuan. Urutan dari tua ke muda adalah: Satuan Gamping Bahbotala (Tgb), Andesit G. Sipapagus (Qls), Andesit G. Bahtopu (Qlb), Aliran piroklastik Toba (Qat), Jatuhan piroklastik Toba (Qjt), Travertin (Otr) dan Aluvium/Qa (Gambar 2). Umur jejak belah lava G. Bahtopu ( $1.9 \pm 0.2\text{Ma}$ )/ Pliosen.

**Struktur geologi**, dicerminkan kelurusan (*lineament*) tofografi dan kerucut gunungapi, paset segitiga, gawir sesar, kekar/ *joint*, *off-set* batuan, breksiasi dan mataair panas.

Berdasarkan cermin tersebut, maka struktur geologi daerah terdiri dari:

- Kerucut G. Bahtopu dan G. Sipapagus.
- Kelurusan (*lineament*) gunungapi baratlaut-tenggara (N 320-325° E), berupa *dike* yang memotong *basement* dan memunculkan deretan G. Bahtopu dan G. Sipapagus.
- Sesar timurlaut-baratdaya (N40-60°) E, berupa patahan Sigayung-gayung, Putung.
- Sesar Bahtopu arah baratlaut-tenggara yang memotong G. Bahtopu dan G. Sipapagus. Blok barat relatif naik dan blok timur turun.
- Sesar Bahbotala berarah baratlaut-tenggara sejajar sesar Bahtopu, menunjukkan blok timur relatif naik dan blok barat turun. Sesar memunculkan batuan gamping Tersier.

Sesar Bahtopu dan Sesar Bahbotala merupakan zona N 320-325° E, menyebabkan beberapa mataair panas bersuhu 36,4-66,5° C, dan endapan *travertine* (sinter karbonat) (Gambar 2).

**Geohidrologi**, Wilayah air tanah dibagi 3, berupa: resapan air, limpasan dan munculan air tanah, serta aliran permukaan (Gambar 3).

- Daerah resapan  $\pm 30\%$  dari luas daerah. Di sini air hujan meresap ke bumi melalui permeabilitas batuan (*feed-zone*). Selanjutnya akan terkumpul sebagai kantong air (*catchment-area*) dan daerah akumulasi air tanah.
- Daerah limpasan dan munculan airtanah mencakup  $\pm 60\%$  dari luas daerah. Air hujan yang meresap ke bumi, yang tidak menjadi kantong air, akan melaju dan muncul di elevasi rendah berupa mataair dingin dan mataair panas.
- Daerah aliran air permukaan (*sungai*), mencakup  $\pm 10\%$  luas daerah, berupa air hujan yang mengalir di permukaan tanah. Aliran sungai secara gravitasi mengalir dari elevasi

tinggi ke tempat rendah, diantaranya S. Bahbotala, S. Putung dan S. Karai.

## GEOKIMIA

### Air panas

Kandungan kimia air panas yang di plot di diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> menunjukkan bahwa mataair panas Partulatula dan Panggaruan berada di tipe Klorida, sedang air panas Tinggi Raja, Balakbak, Lakparan, dan Bahoan ada di tipe Bikarbonat mendekati Klorida., dan air panas Bahbotala ada di tipe Bikarbonat.

Air panas tipe Klorida, menunjukkan bahwa fluida panas berasal langsung dari reservoir (*deep-water*), sedang air panas Tinggi Raja, Balakbak, Bahoan dan Lakparan, fluida panas dari *deep-water* mengindikasikan terkontaminasi oleh air permukaan, dan air panas Bahoan menunjukkan bahwa fluida panas dari dalam telah dominan terkontaminasi air permukaan, dan terlihat pada diagram Na/1000-K/100-√Mg di *immature water* (Gbr 3).

Diagram segitiga Cl-Li-B menunjukkan bahwa mata air panas berada di posisi yang mengindikasikan terpengaruh batuan sedimen.

Geothermometer yang sesuai dengan persyaratan fisika dan kimia menunjukkan bahwa suhu reservoir ± 180° C. (entalpi sedang/ *medium enthalphy*).

### Hg tanah dan CO<sub>2</sub> udara tanah,

Konsentrasi Hg tanah bervariasi antara 2-485 ppb, dengan *background* 120 ppb. Variasi konsentrasi CO<sub>2</sub> udara tanah antara 0.2-2,7 %, dengan *background* 1,2 %. Anomali Hg diasumsikan > 120 ppb, dan anomali CO<sub>2</sub> pada konsentrasi > 1,2% (Gambar 4).

## GEOFISIKA

**Geo-magnet**, peta isomagnet total bervariasi antara -824 hingga 427 nT. Harga dibedakan menjadi 4 nilai yaitu: nilai < -525 nT sebagai refleksi batuan melapuk kuat; nilai - 525 hingga - 175 nT) sebagai respon lapukan sedang-kuat; nilai -175 hingga 125 nT berupa batuan tuf; dan nilai >125 nT ditafsirkan berupa lava.

Hasil magnet menunjukkan ada sesar berarah utara-selatan, barat-timur dan baratdaya-timurlaut dibagian barat, dan nilai magnet total < -525 nT hingga -175 nT ditafsirkan merupakan daerah

yang terimbas oleh fluida panas dari dalam, dan berkemungkinan terjadi demagnetisasi batuan oleh air panas (Gambar 5).

**Gaya Berat**, hasil yang representatif adalah peta anomali sisa/ *residual*. Peta merupakan ekstraksi anomali *bouguer* dengan anomali regional dan merupakan anomali gaya berat lokal. Peta anomali sisa merupakan respon dari batuan bawah permukaan yang relatif dangkal. Berdasarkan kontrasnya dapat ditarik kelurusan kontur yang secara kualitatif diinterpretasikan sebagai patahan di kedalaman.

Peta anomali Sisa menunjukkan ada zona anomali tinggi (> 7 mgal) yang muncul di bagian tengah barat. Anomali tersebut diduga berupa batuan pembawa panas (*heat-source*), letaknya di bawah G. Bahtopu.

Struktur patahan arah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya menimbulkan permeabilitas batuan dan menyebabkan sistim panas bumi (Gambar 6).

### Geolistrik mapping dan sounding

Pengukuran mapping iso tahanan jenis semu representatif diambil dari AB/2=1000 m. Kontur Kontur 25-50 Ohm-m berada di wilayah manifestasi mata air panas Tinggi Raja dengan pola memanjang arah barat laut-tenggara. Daerah tersebut merupakan refleksi dari batuan konduktif (*clay-cap*), dan diasumsikan sebagai daerah prospek (anomali geo-listrik tahanan jenis rendah). Kontur 250-500 Ohm-m lainnya ada di timurlaut, dan kontur 500 Ohm-m di baratdaya, namun daerah tersebut diasumsikan merupakan daerah *out-flow* dengan ciri munculnya mata air panas Bahbotala bertipe air panas Karbonat (Gambar 7).

Pada penampang tegak/ vertikal tahanan jenis sebenarnya, menunjukkan bahwa batuan di permukaan mempunyai nilai tahanan jenis berharga 700-1200 Ohm-m, batuan tersebut merupakan batuan permukaan (*overburden*) dan endapan *travertine*. Di bawah batuan permukaan, ditempati oleh batuan bertahanan jenis antara 25-350 Ohm-m, yang diasumsikan merupakan batuan piroklastik relatif segar. Di bawah batuan piroklastik segar, ditempati oleh batuan dengan tahanan jenis 6-50 Ohm-m, yang merupakan batuan piroklastik yang telah berubah dan bersifat sebagai *clay-cap* (lempung konduktif). Lapisan terbawah yang bisa terdeteksi berupa batuan bernilai tahanan jenis 80-400 Ohm-m, yang dianggap sebagai batuan reservoir, batuan

tersebut adalah lava yang mempunyai permeabilitas tinggi (Gambar 8)

## DISKUSI

Di kedalaman daerah, akumulasi panas diindikasikan oleh mataair panas Tinggi Raja, Partulatula, Panggaruan, Balakbak, Bahoan, Lakparan dan Bahbotala. Indikasi menunjukkan bahwa fluida di dalam bersifat normal. Lempung penudung/ *clay cap* hanya hadir sebagai poket reservoir di sepanjang bidang patahan Bahtopu, Bahbotala dan di bawah zona patahan Tinggi Raja-Balakbak-Bahbotala. Batuan dasar/ *basement* umurnya lebih tua dari Miosen Tengah. Konsentrasi CO<sub>2</sub> udara tanah nilai tinggi di daerah Tinggi Raja, menuntun bahwa harga tersebut merupakan daerah anomali panas bumi, berupa cerminan dari gas-gas vulkanik di reservoir.

Di Kampung Bahoan ada sinter karbonat (*travertine*) yang intensif terendapkan sampai sekarang. Melihat kondisi tersebut maka estimasi geotermometer air panas yang representatif diaplikasikan adalah *silica conductif cooling* dan geotermometer Na, K, Ca atau geotermometer gas.

Batuan tertua yang tersingkap adalah batu gamping (CaCO<sub>3</sub>), selanjutnya faktor *scaling* CaCO<sub>3</sub> perlu dipertimbangkan bila dilakukan eksplorasi ataupun eksploitasi pemboran untuk memanfaatkan fluida panas.

Luas daerah prospek hasil kompilasi geologi, geokimia dan geofisika, berada diantara sesar Tinggi Raja dan Bahbotala, hasil menunjukkan luas daerah ± 5,5 Km<sup>2</sup>.

Model panas bumi berdasarkan karakteristik geologi, geokimia dan geofisika, tertera di Gambar 9.

- *Heat-source* (sumber panas) diduga berupa poket magma di kedalaman G. Bahtopu.
- Kemungkinan Reservoir berupa akumulasi airpanas pada permeabilitas batuan (*feed-zone*), di kedalaman 500-1000 m.
- Batuan penudung/ *clay-cap* berupa kontak sentuh antara batuan vulkanik dengan lapisan air panas di Tinggi Raja, Partulatula, Balakbak, Bahoan, Lakparan dan Bahbotala.
- Batuan konduktif umurnya lebih tua dari Miosen Tengah. *Basement* tersebut bersifat kristalin. Rambat panas terkonduksi melalui batuan, dan konveksi panas berupa aliran fluida ke permukaan akibat P tinggi.

Estimasi cadangan terduga berdasarkan Standarisasi Potensi Panas Bumi Indonesia (DGSM, 1999), adalah:

$$Q = 0.11585 \times A \times (T_{Res} - T_{cut\ off})^{\circ} C$$

keterangan:

Q: Potensi energi panas bumi terduga (Mwe).

0.11585: nilai konstanta

A: Luas daerah potensi (km<sup>2</sup>), dari anomali survai terpadu.

T<sub>Res</sub>: Suhu reservoir 180° C (Geotermometer airpanas dan *gas*)

T<sub>cut off</sub>: Suhu cut-off yaitu 120° C

Potensi cadangan terduga Dolok Marawa adalah:

$$Q = 0.11585 \times 5,5 \times (180-120) \text{ Mwe} \\ = \pm 38 \text{ Mwe.}$$

## SIMPULAN

Akumulasi fluida panas di bawah Kampung Bahoan terindikasi oleh mataair panas Tinggi Raja, Partulatula, balakbak, Bahoan, Lakpartan dan Bahbotala. bersuhu 36,4-66,5° C, dan pH netral (6.57-7,63)

Indikasi menunjukkan fluida bersifat netral, dan entalpi sedang (Geotermometer = 180° C). Potensi cadangan terduga ± 38 Mwe.

## REKOMENDASI

Potensi panas bumi di Kampung Bahoan, sebaiknya tidak dilakukan eksplorasi dan eksploitasi pengeboran, karena daerah ada di wilayah Cagar alam dan wisata.

Sesuai UU RI Tahun 1990, No 5, Pasal 17 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistem di lingkungan Cagar Alam dan Wisata, maka tidak boleh dilakukan eksploitasi penambangan dan kegiatan lainnya. Disarankan daerah tersebut dijadikan kawasan pariwisata air panas saja.

## UCAPAN TERIMA KASIH

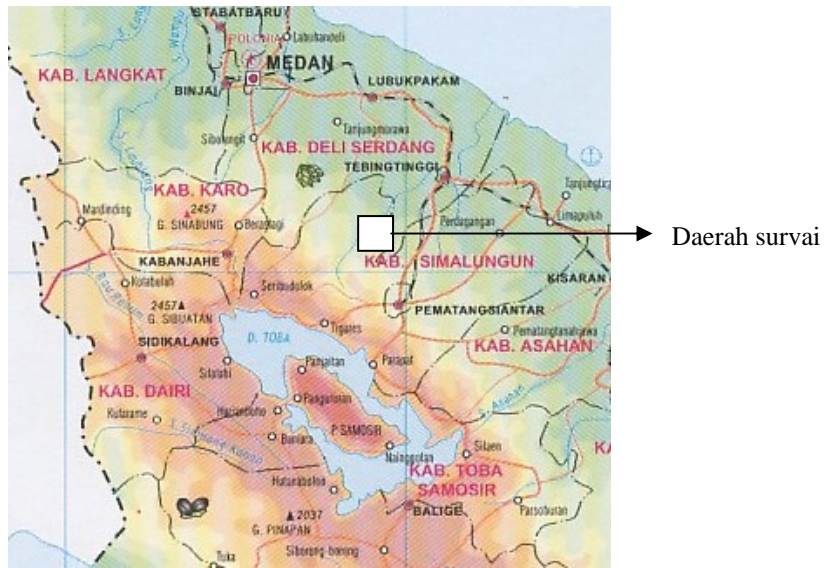
Terimakasih disampaikan kepada Institusi Pusat Sumber Daya Geologi (PMG) yang telah memberikan ijin pemakaian data, sehingga berbentuk makalah ini.

## PUSTAKA

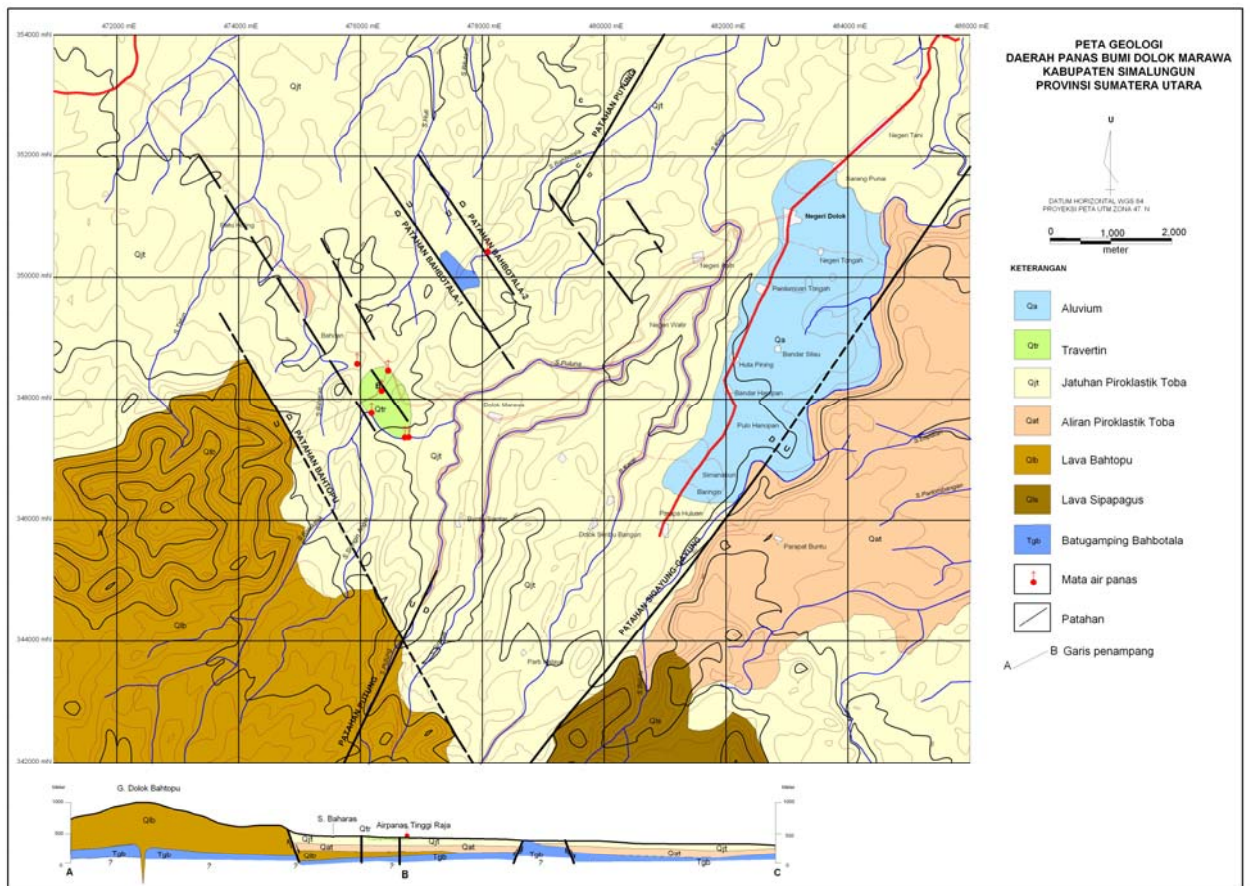
Akbar, N, dkk., 1972; Gejala mataair panas di Dolok Marawa, Ka. Simalungun, Sumut.

- Bemmelen, van R.W., 1949; *The Geology of Indonesia*. Vol. I A.732 p. Government Printing Office. The Hague. Netherlands.
- Breiner.S. 1973, Application Manual for Portable Magnetometers.
- Cameron., dkk., 1982; Peta Geologi lembar Medan, Sumatra. Publikasi P<sub>3</sub>G 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., 1980, Geothermal gas equilibria, *Geochimica et cosmochimica Acta*, Vol 44, pp 2021-2032
- ., 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
- Giggenbach, W., Gonviantini, R., and Panichi,C., 1983, Geothermal Systems, "Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology", Technical Reports Series No. 91. International Atomic Energy Agency, Vienna
- 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.
- Telford and Sheriff, 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University.
- Wohletz, K., and Heiken, G., 1992, *Volcanology and Geothermal Energy*, The Regents of The University of California., Printed in The United States of America

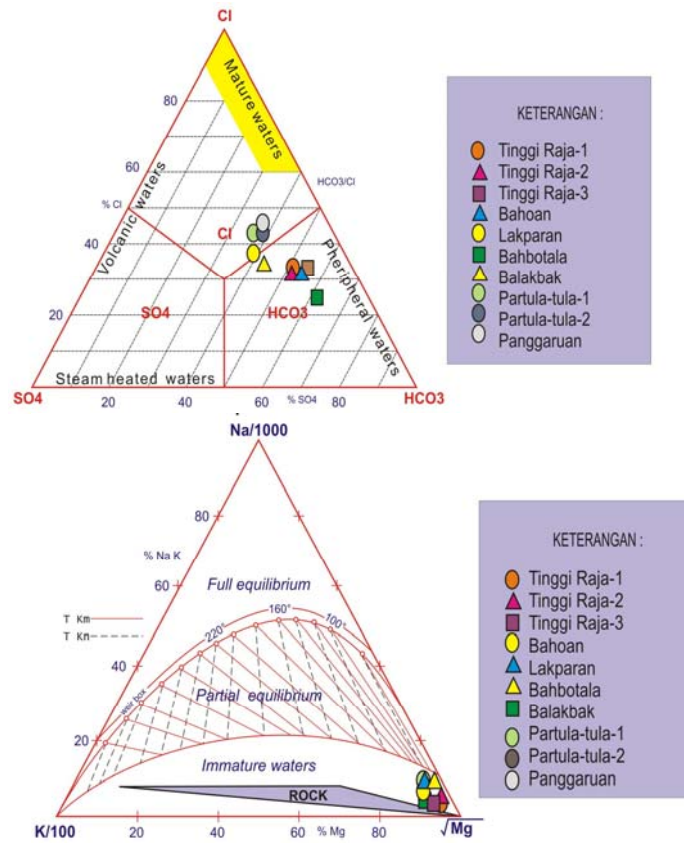
PROCEEDING PEMAPARAN HASIL-HASIL KEGIATAN LAPANGAN DAN NON LAPANGAN  
TAHUN 2006, PUSAT SUMBER DAYA GEOLOGI



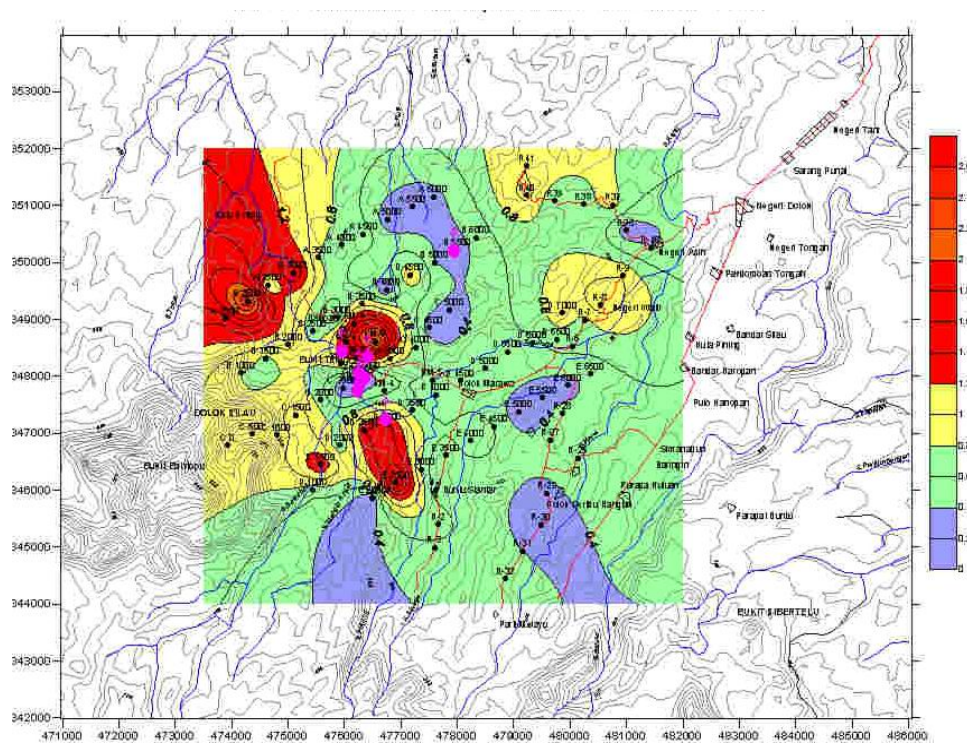
Gambar 1. Lokasi survai



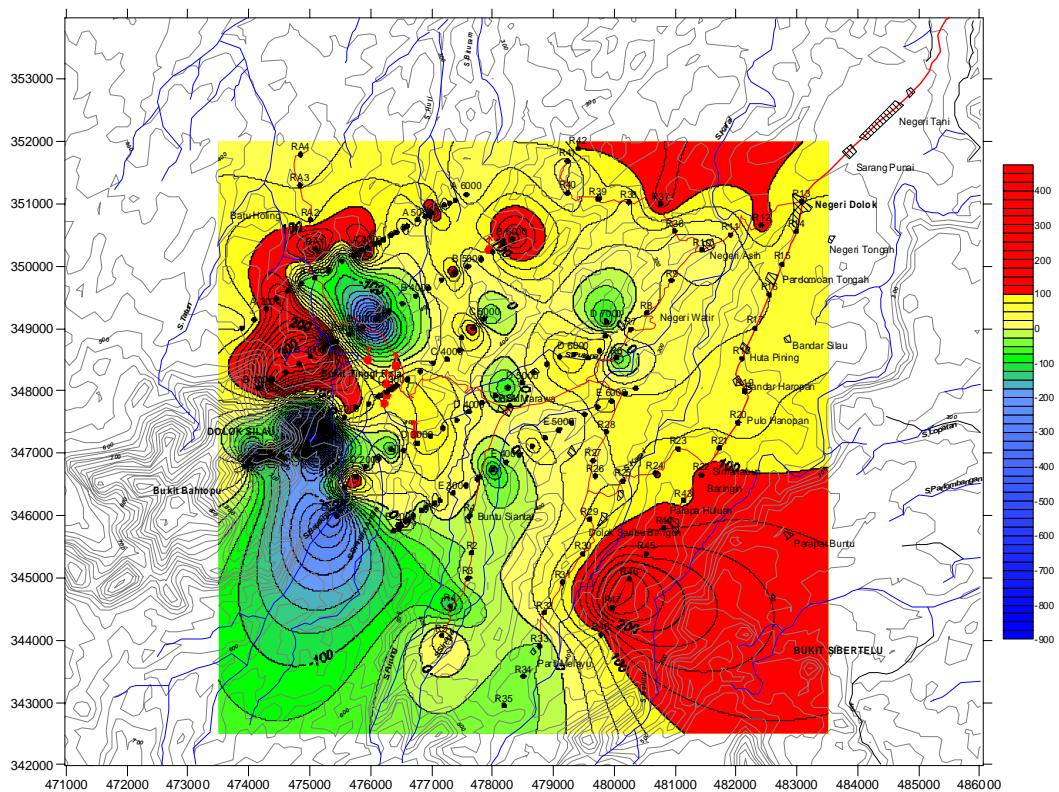
Gambar 2. Peta geologi Dolok Marawa



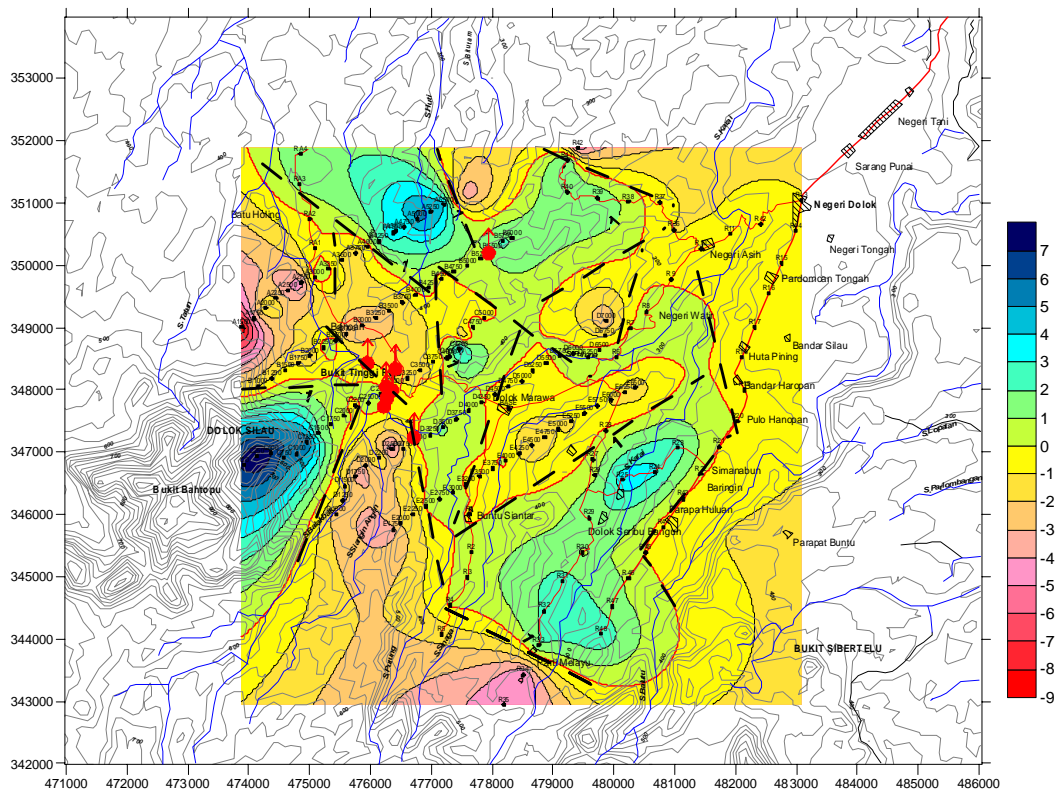
Gambar 3. Diagram segitiga Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> dan Na/1000-K/100-VMg



Gambar 4. Kontur sebaran CO<sub>2</sub> udara tanah pada kedalaman 1 m

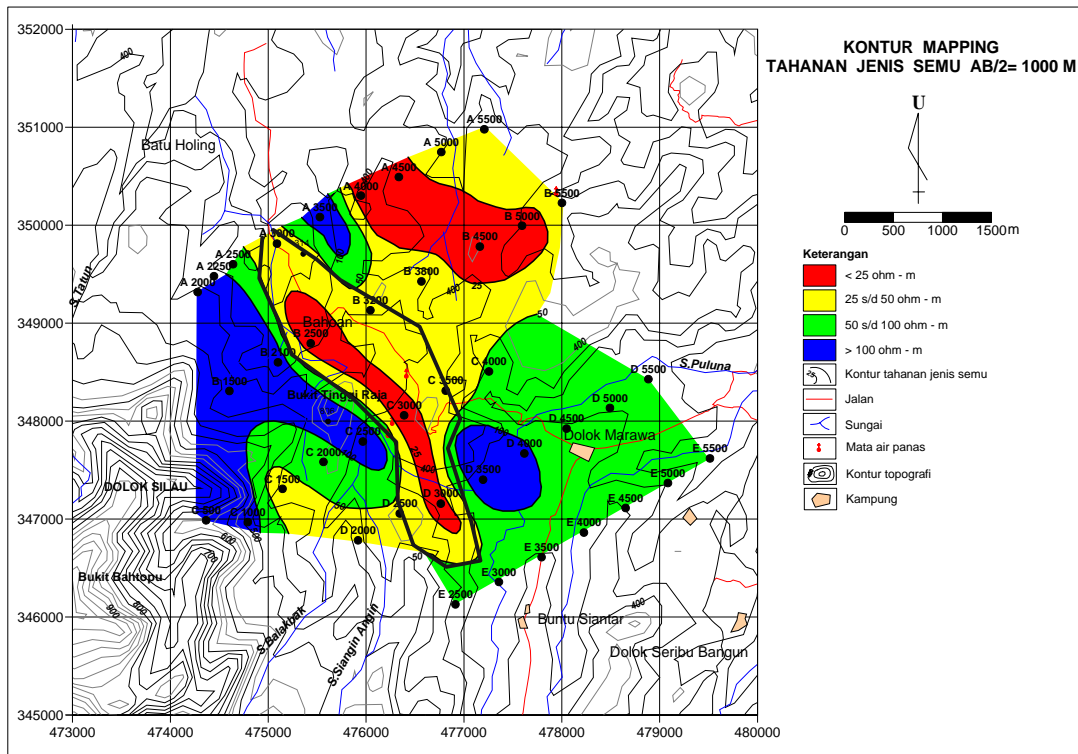


Gambar 5. Peta isomagnet total

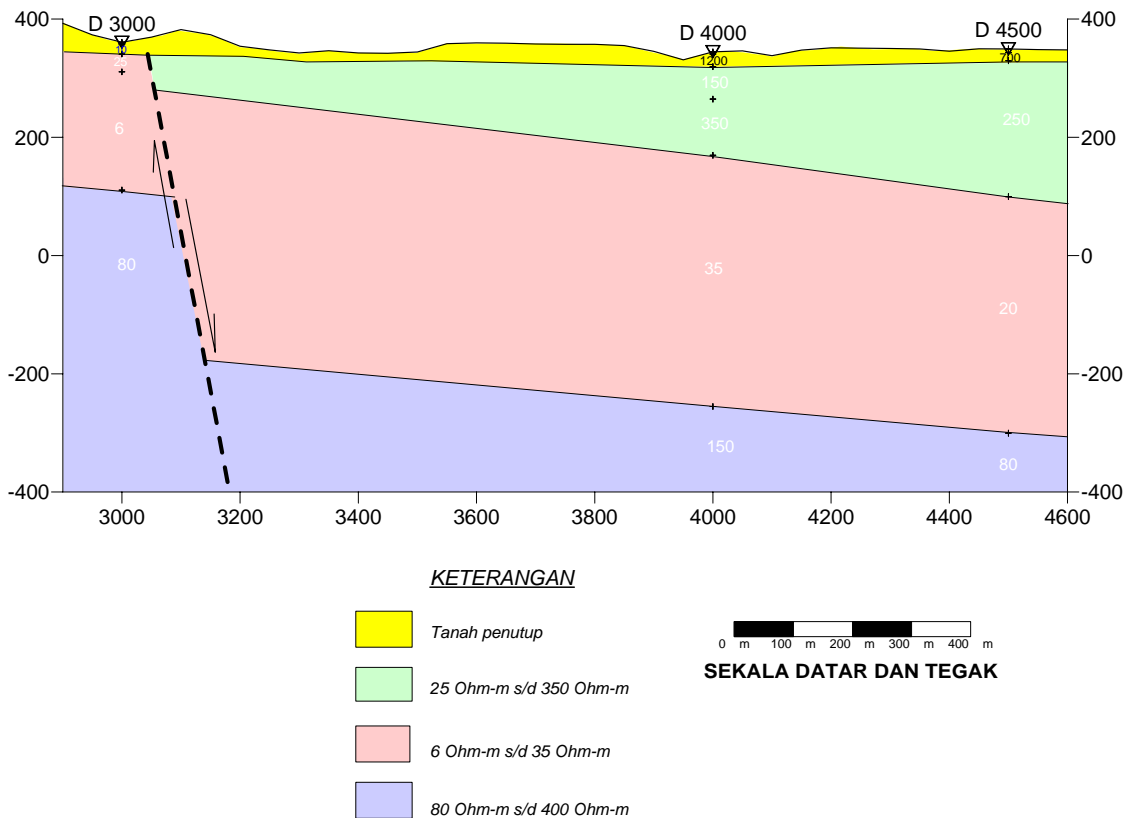


Gambar 6. Peta anomali sisa/ residual orde 2

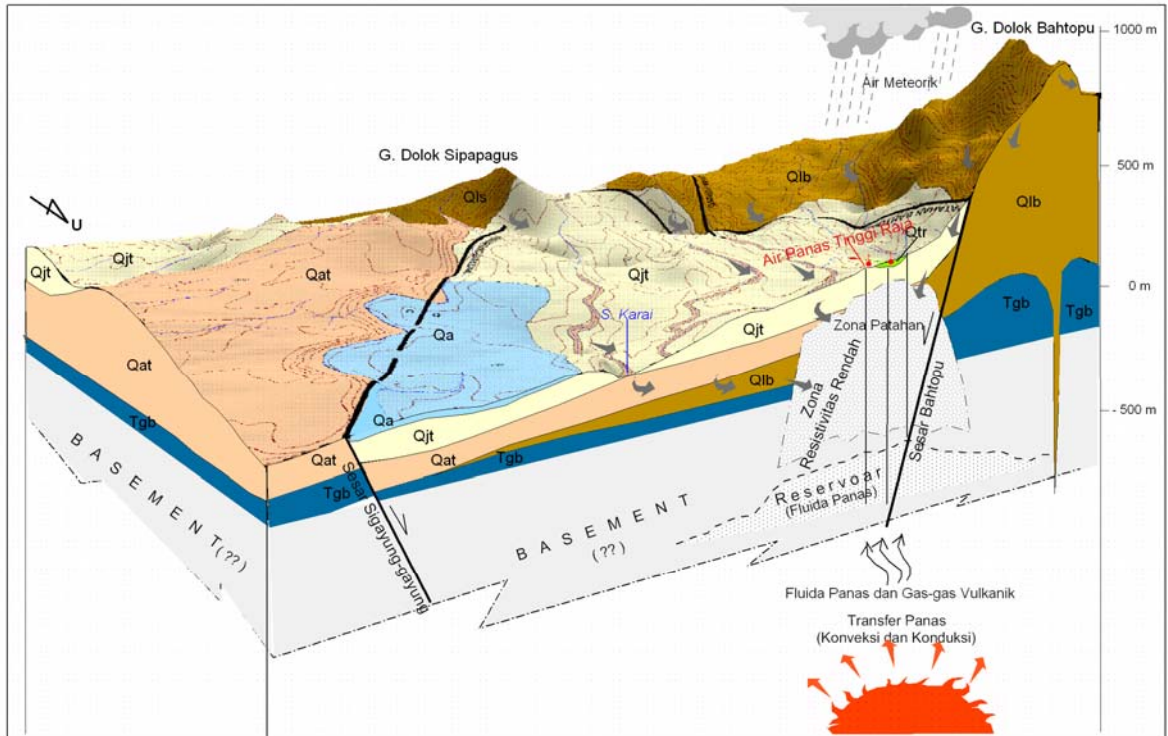




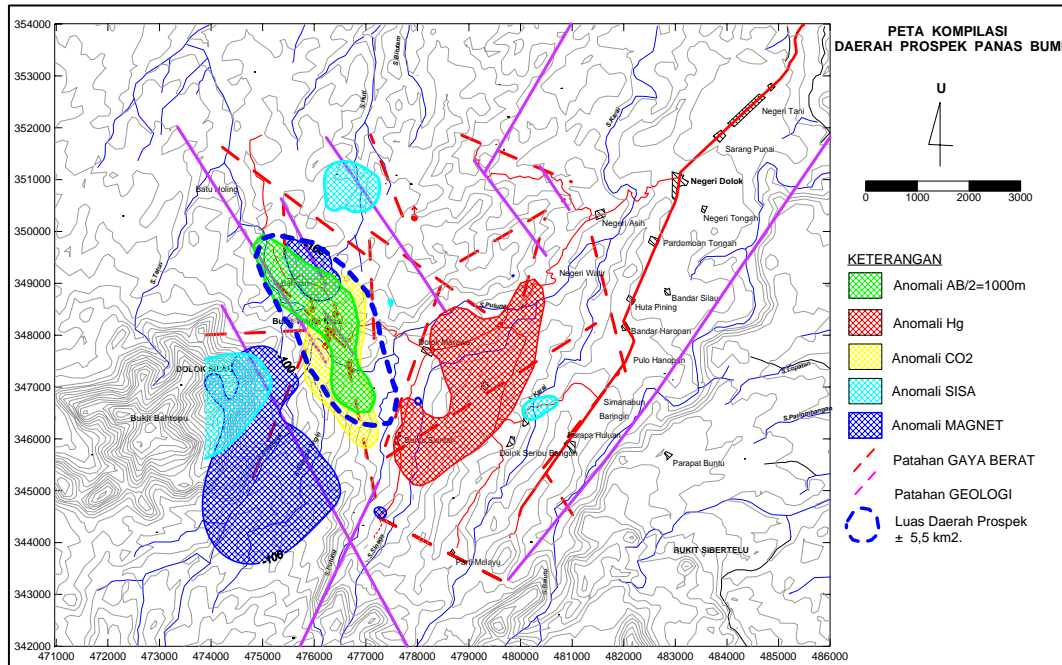
Gambar 7. Peta mapping tahanan jenis AB/2 = 1000 m



Gambar 8. Penampang tahanan jenis tegak/ vertikal di lintasan D



Gambar 9. Model panas Bumi Dolok Marawa



Gambar 10. Daerah Prospek panas bumi dan Kompilasi Struktur Geologi, anomali Hg, CO<sub>2</sub>, Sisa/ Residual, Gayaberat. Magnet , Tahanan jenis AB/2 = 1000 m daerah Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun.

Lampiran 1. Matrik Potensi Cadangan, Aksesibilitas dan Prakiraan Resiko di Daerah Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun

PROCEEDING PEMAPARAN HASIL-HASIL KEGIATAN LAPANGAN DAN NON LAPANGAN  
TAHUN 2006, PUSAT SUMBER DAYA GEOLOGI

KRITERIA	MANIFESTASI AIR PANAS DI BAHOAN
Penduduk Kabupaten Simalungun	823, 109 jiwa (BPS dan BPPD Kabupaten Simalungun, 2004)
Lokasi manifestasi	Mataair panas Tinggi Raja, Partulatula, Balakbak, Bahoan, Lakparan dan Bahbotala di Desa Bahoan. Kec. Silau Kahean, Kab. Simalungun, Sumatera Utara
Jenis Manifestasi	Mataair panas
Elevasi	+ 330 - 370 m dpl
Lingkungan Geologi	Batuan andesitik, piroklastik dan gamping Sesar Sigayung gayung (N 40-50o E/ 80o), Sesar Bahtopu dan Bahbotala (N 320-340o E/ > 75o)
Suhu air panas di permukaan	36,4 dan 66,5° C
Geothermometer	180° C
pH	6,57 - 7,63
Debit	30 - 5 ltr/ dtk
Luas daerah potensi	5,5 km <sup>2</sup>
Distribusi jaringan listrik	Tersambung dengan jalur distribusi di Provinsi Sumatera Utara
Potensi Cadangan Terduga	± 38 Mwe
Akses Jalan	Melalui jalan Negara antara Sumatera -Tebing Tinggi, jalan Provinsi antara Tebing - Tinggi ke Karapu (Kec. Dolok Marsihol), dan jalan Kabupaten antara Simpang Karapu - Desa Dolok Marawa.
Tataguna lahan	Hutan suaka alam & wisata, hutan lindung, hutan produksi terbatas, untuk penggunaan lainnya
Faktor Risiko	Banjir, tanah longsor dan gempa tektonik (?).