

**PENENTUAN DAN IDENTIFIKASI FLUIDA GEOTHERMAL DAN
MINERAL PENYUSUNNYA DI DAERAH GEOTHERMAL
TINGGI RAJA SIMALUNGUN, SUMATERA UTARA
MENGUNAKAN PENCITRAAN
RESISTIVITAS 2D
DAN XRD**

Muhammad Kadri and Eko Banjarnahor
Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Medan

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan fluida geothermal yang mengalir di bawah permukaan dengan menggunakan pencitraan resistivitas 2 dimensi. Dan untuk mengidentifikasi batuan mineral penyusunnya dengan menggunakan XRD Di daerah Tinggi Tinggi Raja Dolok Morawa Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. Tiga lintasan telah dibuat untuk melakukan penelitian penentuan fluida geothermal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya potensi geothermal. Kedalaman maksimum dari penelitian adalah 125 meter. Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah permukaan terdiri dari batu kapur (nilai resistivitas kurang dari 100 ohm-m) dan tanah liat dengan nilai resistivitas juga kurang dari 100 ohm-m di setiap lapisan tanah. Mineral utama penyusun batuan geothermal adalah Kalsit (CaCO_3).

Kata Kunci: metode resistivitas, XRD, dan batu kapur.

I. PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi yang dapat dijadikan sumber bagi kelangsungan kehidupan makhluk hidup adalah energi panas bumi. Energi panas bumi adalah energi panas yang tersimpan dalam fluida dan batuan di bawah permukaan bumi. Potensi panas bumi Indonesia mencapai 40% dari potensi panas bumi di dunia atau mencapai 28.000 MWe dengan potensi sumber daya 13.440 Mwe.

Penggunaan energi panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik hanya sekitar 3% dari seluruh listrik yang dibangkitkan oleh PLN. Salah satu faktor yang menyebabkan kurangnya pemakaian energi panas bumi adalah lokasi potensi panas bumi yang kurang terjangkau.

Indonesia adalah merupakan Negara yang mempunyai potensi panas bumi yang sangat banyak dibandingkan Negara lain. Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi panas bumi adalah di Kabupaten Simalungun.

Kabupaten Simalungun terletak antara $02^{\circ}36' - 03^{\circ}18'$ Lintang Utara dan $98^{\circ}32' - 99^{\circ}35'$ Bujur Timur dengan luas 4.386,60 km^2 . Potensi sumber panas bumi yang di daerah Simalungun terletak di cagar alam Dolok Tinggi Raja desa Dolok Morawa Kecamatan Silau kahean.

Beberapa penelitian pernah dilakukan di panas bumi Tinggi Raja, diantaranya penyelidikan oleh Kelompok Program Penelitian panas Bumi (2006), menyatakan fluida di Daerah Panas Bumi Dolok Marawa bersifat netral, didominasi air panas, geothermometer fluida 180 °C, termasuk dalam kategori entalpi sedang dan potensi cadangan terduga 49-50 Mwe.

Metode geolistrik dapat menentukan ada tidaknya potensi panas bumi di suatu daerah berdasarkan parameter fisis yang terdiri dari hambatan jenis bahan, Metoda geolistrik dapat digunakan untuk mengukur sifat kelistrikan material bumi. Dari hasil tersebut dapat ditentukan jenis – jenis material bumi yang didapat.

Mengukur sifat kelistrikan material bumi dengan menginjeksikan arus ke dalam tanah sehingga didapatkan besaran tegangan (V) dan arus (I) yang dikonversi ke dalam bentuk resistivitas semu (ρ) dengan menggunakan prinsip Hukum Ohm. Pendekatan sederhana untuk mendapatkan resistivitas setiap batuan di bawah permukaan dilakukan dengan mengasumsikan bahwa bumi merupakan suatu medium yang homogen isotropis yang dikenal dengan istilah resistivitas semu. Nilai resistivitas semu sebagai fungsi konfigurasi pengukuran kemudian diinversi secara numerik ke dalam bentuk model resistivitas sesungguhnya terhadap kedalaman. Konfigurasi geolistrik yang digunakan adalah konfigurasi schlumberger. Konfigurasi schlumberger adalah salah satu metode yang diterapkan pada penyelidikan terpadu dengan tujuan mempelajari struktur tahanan jenis daerah penyelidikan terutama dalam membantu membatasi daerah prospek panas bumi. Untuk hasil pemodelan 2-D (dua dimensi) didapatkan dari pengolahan data resistivitas dengan menggunakan program *Res2Dinv* sehingga diperoleh model penampang dua dimensi bawah permukaan sepanjang lintasan dimana nilai tahanan jenisnya dibedakan berdasarkan warna untuk melihat nilai resistivitas pada setiap lapisan.

Kemudian cara yang paling akurat untuk mengidentifikasi mineral batuan yaitu melalui metoda analisa difraksi sinar- X (*Xray diffraction*). Analisis XRD merupakan metode yang dapat memberikan informasi mengenai jenis mineral yang terdapat dalam suatu batuan. Data hasil XRD tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik tiap mineral, persentase mineral, dan tingkat kristalinitas mineral (Silaban, 2001).

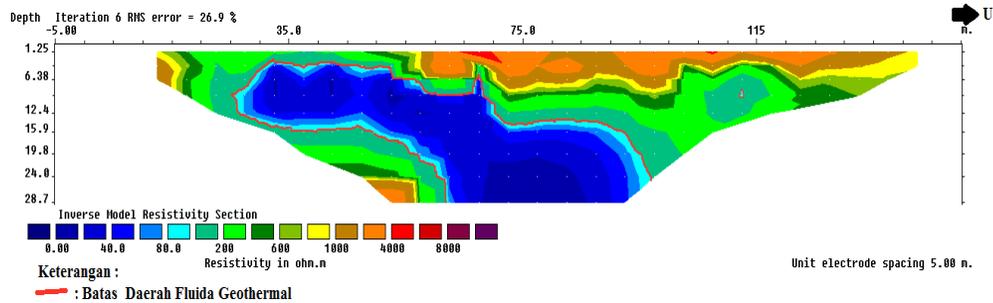
Untuk analisis XRD, sampel yang diuji dalam kondisi diam (statis). Data hasil penyinaran Sinar X berupa spektrum difraksi. Sinar X yang dideteksi oleh detektor kemudian direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik peak intensitas, yang lebih lanjut dianalisis jarak antara bidang kisi kristalnya dan dibandingkan dengan hukum Bragg pada komputer dengan menggunakan software tertentu sehingga dapat menghasilkan suatu data. Proses interpretasi data dilakukan dengan mengidentifikasi puncak-puncak grafik XRD dengan cara mencocokkan puncak yang ada pada grafik tersebut dengan *database* ICDD.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

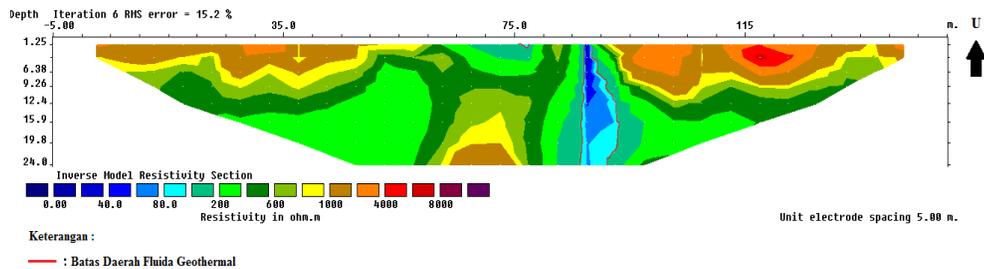
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini terbagi kepada dua metode. Metode tersebut adalah

2.1. Geolistik

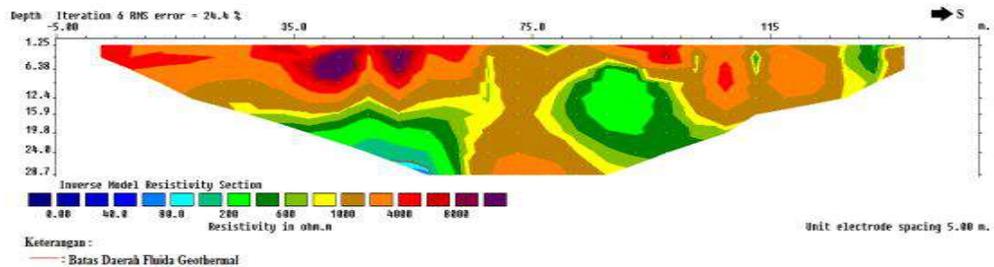
Penampang hasil pengolahan data pemodelan 2D pada lintasan 1 sampai 3 diperlihatkan pada masing-masing gambar 1, 2, 3 di bawah ini.



Gambar 1. Penampang Kontur Resistivitas Pada Lintasan Pertama.



Gambar 2. Penampang Kontur Resistivitas Pada Lintasan Kedua.



Gambar 3. Penampang Kontur Resistivitas Pada Lintasan Ketiga.

Untuk lintasan I (gambar 1), nilai resistivitas 9,09-80 Ωm terletak pada kedalaman 2,5-28,7 m dan berada pada jarak 25-92 m dan jarak 112-113 m ditafsirkan sebagai lempung. Nilai resistivitas 140-200 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-28,7 m pada jarak 22-102,5 m dan jarak 106-117 ditafsirkan sebagai lanau, nilai resistivitas 200-600 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-2,87 m dan berada pada jarak 17 -137 m ditafsirkan sebagai batu pasir, dan untuk nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$ ditafsirkan sebagai batu gamping yang terletak pada kedalaman 1,28-28,7 m dengan jarak antara 7,5-144 m (Milsom, 2003).

Umumnya lintasan I didominasi oleh lapisan yang memiliki nilai resistivitas $> 600 \Omega\text{m}$ yang ditafsir sebagai batu gamping. Anomali rendah terdapat pada kedalaman 2,5-28,7 m dengan jarak 25-92 m dan jarak 112-113 dan memiliki nilai resistivitas 79,09-80 Ωm dengan warna biru tua sampai biru muda ■■■■.

Pada lintasan I, diketahui adanya anomali rendah yaitu berupa lempung dengan nilai resistivitas 9,09-80 Ωm . Dengan demikian dapat ditafsirkan bahwa lapisan yang berpotensi mengandung fluida geothermal adalah lapisan yang berada pada kedalaman antara 2,5-28,7 m dan berada pada jarak 25-92 m dan jarak 112-113 m dengan nilai resistivitas 9,09-80 Ωm yang diasumsikan sebagai lempung konduktif. Fluida geothermal mengalir ke arah barat lokasi penelitian (menuju danau biru). Sedangkan batuan penudung diasumsikan berupa batu gamping yang memiliki nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$ yang terletak pada kedalaman 1,28-28,7 m dengan jarak antara 7,5-147,5 m.

Untuk Lintasan II (Gambar 2), nilai resistivitas 7,89-80 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-24 m dan berada pada jarak 87-99 m ditafsirkan sebagai lempung. Nilai resistivitas 140-200 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-24 m pada jarak 67,5-79 m dan jarak 83-97,5 m ditafsirkan sebagai lanau, nilai resistivitas 200-600 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-24 m dan berada pada jarak 14-134 m ditafsirkan sebagai batu pasir, dan untuk nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$ ditafsirkan sebagai batu gamping yang terletak pada kedalaman 1,28-24 m dengan jarak antara 2,5-143 m.

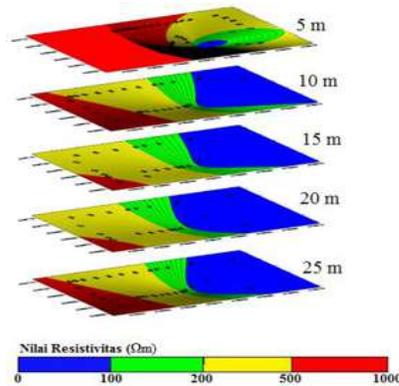
Pada lintasan kedua, lapisan didominasi oleh batu gamping dengan nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$. Anomali rendah terdapat pada kedalaman 1,25-24 m dan jarak 89-93 m dengan nilai resistivitas 7,09-80 Ωm ditunjukkan dengan warna biru tua sampai biru muda■■■■, sehingga dapat ditafsirkan lapisan yang berpotensi mengandung fluida geothermal adalah lapisan yang berada pada kedalaman antara 1,25 – 24 m dan pada jarak 87-99 m dengan nilai resistivitas 7,09-80 Ωm yang diasumsikan sebagai lempung konduktif. Fluida mengalir ke arah utara lokasi penelitian (menuju danau biru). Sedangkan lapisan penudung berupa batu gamping yang terletak pada kedalaman 1,28-24 m dengan jarak antara 2,5-143 m dengan nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$.

Untuk Lintasan III (gambar 3), nilai resistivitas 40-80 Ωm terletak pada kedalaman 26,35-28,7 m dan berada pada jarak 52,5-59 m ditafsirkan sebagai lempung. Nilai resistivitas 140-200 Ωm terletak pada kedalaman 20,85-28,7 m dengan jarak 45-60 m yang ditafsirkan sebagai lanau. Nilai resistivitas 200-600 Ωm terletak pada kedalaman 1,25-28,7 m dan berada pada jarak 33-64 m, jarak 76-79 m, jarak 80-105 m dan jarak 130-135 m ditafsir sebagai batu pasir, dan untuk nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$ ditafsirkan sebagai batu gamping yang terletak pada kedalaman 1,28-28,7 m dengan jarak antara 3-138 m.

Pada lintasan III, lapisan didominasi oleh batu gamping dengan nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$. Anomali rendah terdapat pada kedalaman 26,35-28,7 m pada jarak 52,5-59 m dengan nilai resistivitas 40-80 Ωm dengan warna■■■. Anomali ini ditafsir berupa lempung dan terperangkap diantara batu gamping. Lapisan ini ditafsir memiliki kandungan fluida geothermal dengan nilai resistivitas 40-80 Ωm . Sedangkan lapisan

penudung berupa batu gamping yang berada pada kedalaman 1,28-28,7 m dengan jarak antara 3-138 m dengan nilai resistivitas $>600 \Omega\text{m}$.

Untuk kontur per kedalaman semua lintasan pengukuran dianalisis menggunakan *surfer8*. Titik pengukuran sebanyak 3 lintasan menggambarkan penyebaran batuan dibawah permukaan kedalaman 5m, 10m, 15m, 20m, 25m. Berdasarkan gambar 4, semakin dalam di bawah permukaan, nilai resistivitas batuan semakin kecil, sehingga dapat ditafsirkan penyebaran fluida semakin besar ke menuju bawah permukaan.

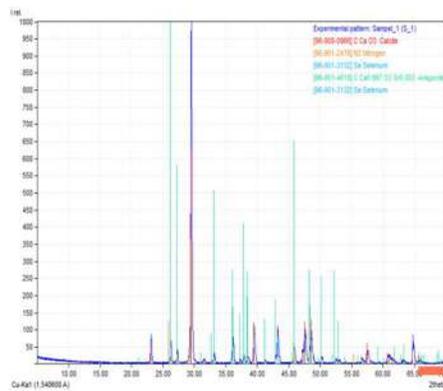


Gambar 4. Kontur Per Kedalaman.

2.2. Uji XRD

- **Sampel A**

Hasil pola difraksi sinar-X untuk sampel A menggunakan program *Match* dapat dilihat pada gambar 5.

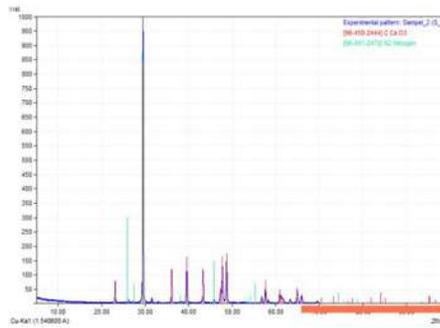


Gambar 5. Difraktogram Sampel A

Analisis kandungan fasa mineral pada sampel A menunjukkan bahwa batuan sampel A merupakan material kristal dengan kandungan utama Kalsit (CaCO_3) dan memiliki sistem kristal trigonal (hexagonal), dengan ukuran kristal $a = 3.9670 \text{ \AA} = 17.0610 \text{ \AA}$. Mineral Kalsit (CaCO_3) memiliki puncak tertinggi berturut turut pada sudut $2\theta = 29,51^\circ$; $47,58^\circ$; $48,58^\circ$, intensitas (i) 621 ; 95,8 ; 89,0, Nitrogen (N_2) memiliki puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 29,51^\circ$ dengan intensitas 363,8, Selenium pada sudut $2\theta = 47,32$ dengan intensitas 58,2.

- **Sampel B**

Hasil pola difraksi sinar-X untuk sampel B menggunakan program *Match* dapat dilihat difraktogram pada gambar 6.



Gambar 6. Difraktogram Sampel B

Analisis kandungan fasa mineral pada sampel B menunjukkan bahwa batuan sampel B merupakan materi kristal dengan kandungan utama Kalsit (CaCO_3).

Sistem kristal kalsit adalah trigonal (*hexagonal axes*) dengan ukuran kristal $a = 4.9758 \text{ \AA}$; $c = 16.9921 \text{ \AA}$. Mineral kalsit (CaCO_3) memiliki puncak tertinggi berturut turut pada sudut $2\theta = 29,51^\circ$; $39,55^\circ$; $48,70^\circ$ intensitas (i) 840,0 ; 158,3 ; 156,6 sedangkan Nitrogen (N_2) memiliki puncak tertinggi pada sudut $2\theta = 29,51^\circ$ dengan intensitas 875,9.

Untuk jumlah berat (%) komposisi kimia kandungan mineral batuan daerah panas bumi Tinggi Raja dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Sampel Penelitian

Sampel	Kandungan Mineral	Jumlah Berat (%)
A	Kalsit (CaCO_3)	59.5
	Nitrogen (N_2)	39.3
	Selenium (Se)	1.1
B	Kalsit (CaCO_3)	84.0
	Nitrogen (N_2)	16.0

Berdasarkan tabel 1, diketahui bahwa komposisi kimia mineral batuan daerah panas bumi Tinggi Raja didominasi oleh kalsit (CaCO_3). Hal ini menguatkan hasil penelitian menggunakan metode geolistrik, dimana daerah penelitian didominasi oleh batu gamping (CaCO_3) dengan nilai resistivitas $> 600 \text{ \Omega m}$ terutama di lapisan *top soil*.

KESIMPULAN

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa : Pola penyebaran fluida geothermal pada daerah penelitian tersebar secara lateral, mengarah ke manifestasi panas bumi (danau biru), dimana lapisan lempung sebagai zona konduktif dengan nilai resistivitas pada lintasan I antara $9,09\text{-}80 \text{ \Omega m}$, lintasan II antara $7,89\text{-}80 \text{ \Omega m}$, dan

lintasan III antara 40-80 Ω m. Sedangkan lapisan penudung pada ketiga lintasan berupa batu gamping dengan resistivitas > 600 Ω m. Mineral utama penyusun batuan panas bumi Tinggi Raja adalah kalsit (CaCO_3) dengan sistem kristal trigonal (hexagonal). Mineral tersebut merupakan mineral penyusun utama batu gamping.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistika, (2013), *Statistika Daerah Kabupaten Simalungun 2013*. Badan Pusat Statistika Kabupaten Simalungun, Pematang Siantar, <http://simalungunkab.bps.go.id/> (diakses pada 15 Januari 2014).
- Departemen Fisika, (2012), *Laboratorium Analisis Bahan (Pengujian dan Analisis Data)*, FMIPA IPB, Bogor.
- Farid, M., Hadi, A.I , Fetusianti, (2008), Analisis Resistivitas Batuan Berdasarkan Data Geolistrik Untuk Memprediksi Sumber Panas Bumi, *Jurnal Sains MIPA* **14** :79-84.
- Gita, L., (2013), *Geothermal : Jawaban Kebutuhan Energi Indonesia* (<http://m.kompasiana.com/post/read/611728/3/geothermal-jawaban-kebutuhan-energi-indonesia>), akses pada 10 maret 2014.
- Lenat, J.F, dkk, (2000), Geoelectrical structure of the central zone of Piton de la Fournaise volcano (Réunion), *Bull Volcanol*, **62** : 75-89.
- Loke, M.H., (2004), *Tutorial : 2-D and 3-D Electrical Imaging Suveys*, email : drmhloke@yahoo.com.
- Milsom, J., (2003), *Field Geophysics : Third Edition*, West Sussex PO19 SQ, England
- Silaban, M., (2001), Studi Mineral Lempung Hidrotermal Dan Aplikasinya Untuk Operasi Pemboran Panas bumi (Studi Kasus : Prospek Panasbumi Ulubelu, Lampung, *Proceeding Of The 5th Inaga Annual Scientific Conference & Exhibitions* **5** : 7-10.
- Telford,W.M., Gerald LP., Sheriff R., (1990), *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, New York.
- WWF Indonesia, (2013), *Panduan Kelestarian untuk Pemanfaatan Panas Bumi*, *British Embassy*, Jakarta.