

## ANALYSIS OF TEMPERATURE, CONDUCTIVITY, AND MAGNETIC DATA TO DETERMINING GEOLOGICAL STRUCTURE AND GEOTHERMAL PROSPECT AT ULU BELU AREA

Agung Budi Laksono<sup>1</sup>, Witta Putri Anggraini<sup>1</sup>, Suharno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Gedong Meneng, Bandar Lampung 35145.

### Abstract

#### Keyword: Conductivity Thermal, Magnetic, Characteristic Point

The potential resources and reserves of a geothermal field can be described by several reservoir parameters such as temperature, pressure, and entalpy represent the heat energy contained in the fluid reservoir. One very important thing to present a geothermal system is a thermal distribution. In the research do forward modeling of distribution thermal conduction geothermal system from top reservoir to the surface. This research aims to model the distribution of the thermal conduction 2D from surface by comparing temperature the known value and compare the change in the temperature distribution of each layer with a real model of the geothermal reservoir. The conductivity thermal's measurement had been conducted at 100 cm depth on Ulu Belu's area which is used needle probe. Measurement of Conductivity Thermal (CT) done simultant with magnetic acquisition at student event "GEOWES UNILA 2017". Magnetic methode is used in confirming result from CT methode. The transient heating of needle probe is used to measure the thermal conductivity and shallow depth temperature. The temperatures that have been measured are 17.42-52.93 °C and the highest value of heat flow that have been measured is 2.1 W/mK. Temperature measurements at shallow depths contain useful information about features of the geological structures in Ulu Belu area. Essentials similarity between thermal and magnetic prospecting make it possible to apply to thermal prospecting modification of the rapid method characteristic point developed for magnetic prospecting. The interpretation result is the upper edge location of anomaly at 12.13 m below the surface.

### I. Pendahuluan

Kebutuhan energi dalam kehidupan manusia pada hari-hari ini sudah meningkat menjadi suatu kebutuhan primer. Tak dapat dipungkiri bahwa seiring meningkatnya populasi manusia, kebutuhan akan energi juga meningkat. Oleh karena itu berbagai macam usaha dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Pada sektor energi, Indonesia didominasi oleh minyak, gas dan batu bara. Minyak bumi memegang 57% dari pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia, gas 23% dan batubara 18%. Sedangkan 2%-nya dipegang oleh energi yang bebas emisi karbon hingga ber-emisi rendah (seperti hidroelektrik dan panas bumi). Info yang didapat dari MEMR, menunjukkan bahwa persediaan energi panas bumi di Indonesia sebesar 20,000 MW. Indonesia telah 20 tahun mengembangkan energi panas bumi ini, akan tetapi hanya mampu mengembangkan sebesar 787 MW energi panas bumi, itu berarti baru 4 persen dari total potensial yang ada di Indonesia. (F. Wulandari, 2004).

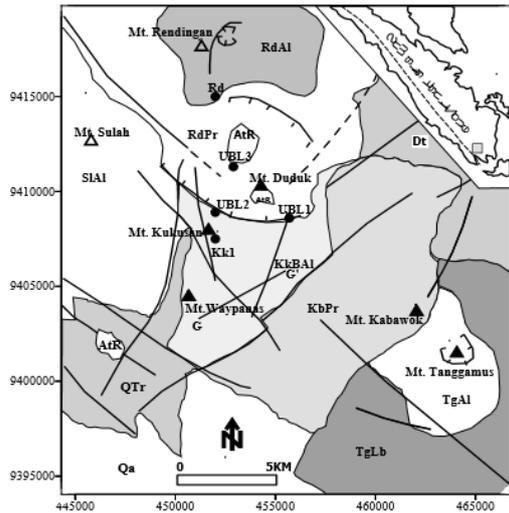
Batuan memiliki berbagai sifat fisika, salah satunya adalah sifat thermal. Sifat thermal meliputi konduksi, konveksi dan lain-lain. Pada penelitian ini sifat thermal yang digunakan adalah konduktivitas. Konduktivitas atau keterhantaran termal (k) adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Setiap batuan memiliki tingkat

konduktivitas yang berbeda-beda tergantung dari struktur batuanya. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan informasi besarnya panas alamiah yang dihasilkan oleh area panas bumi di salah satu bagian area Ulubelu dan struktur yang mengontrol sistem tersebut.

### II. Geologi di Area Panas Bumi Ulu Belu Tanggamus

Daerah panasbumi Ulubelu secara administratif termasuk kedalam wilayah Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Ulubelu merupakan salah satu sektor di timur laut patahan Semangka dan bagian dari region Tanggamus Geologi regional daerah penelitian didominasi oleh vulkanik muda (Holocene-Pleistosen) seperti breksi, lava dan tuffa. Pada formasi Hulusimpang (miocene-Oligosene) terdiri dari breksi vulkanik dan lava. Batuan tua terdapat pada kompleks Gunung Kasih dengan sekuen metamorfik dari rendah sampai sedang di daerah timurlaut dari vulkanik muda. Geologi permukaan di area penelitian banyak didominasi oleh produk vulkanik kuartar dan vulkanik tersier atau disebut vulkanik Tanggamus. Alluvium dan batuan altrasi berada pada bagian baratdaya area penelitian. Banyak lapisan yang terpanaskan tetapi lapisan altrasi dari sistem geothermal berada pada bagian tengah area penelitian dekat dengan daerah Pagaralam pada kaldera Ulubelu. Dengan arah trend dari utara ke selatan dan baratdaya, sejajar dengan sungai Belu dan sungai Ngarip (Suharno, 2003).

Gunung Sulah, Gunung Kukusan dan Gunung Duduk tersusun atas andesitik, basaltik dan dasit vulkanik pada masa Pliosen. Gunung-gunung tersebut berada pada tengah area penelitian dengan produk vulkanik menuju arah barat dan baratdaya (Suharno, 2000). Lava dari Gunung Sulah berada dibawah lava Gunung Kukusan dan tutupan dari Piroklastik Gunung Rindingan pada struktur grabennya. Gunung Duduk tepat berada pada bagian tengah kaldera Ulubelu, adalah sebuah dome yang tertutup oleh Piroklastik Gunung Rindingan. Gunung Kebawok, Gunung Tanggamus, Gunung Rindingan dan Gunung Korupan adalah gunung-gunung pada masa vulkanik Pleistosen berada pada tenggara, timur, utara dan timurlaut mengelilingi daerah penelitian. 5 Produk piroklastik Gunung Kebawok memiliki arah penyebaran menuju utara dan barat, sebagian berada menutup lava Gunung Kukusan. Breksi lahar dan lava andesit adalah hasil dari Gunung Tanggamus pada bagian atas dan baratdaya sebagai hasil vulkanik muda. Proklastik dan lava andesit dari Gunung Rindingan pada bagian utara dan dan barat laut menutup produk dari Gunung Sulah, Gunung Kukusan dan Gunung Duduk (Suharno, 2006).



**Gambar 1.** Geologi daerah panas bumi Ulu Belu. *Qa*: Alluvium, *AtR*: Altered rocks, *TgAl*: Tanggamus andesite lavas, *KrRl*: Kurupan rhyolite lavas, *Dt*: Dacite tuff, *RdAl*: Rendangan andesite lavas, *RdPr*: Rendangan pyroclastics, *TgLB*: Tanggamus laharic breccia, *KbPr*: Kabawok pyroclastics, *DdDI*: Duduk Dacite lavas, *KkBAI*: Kukusan basaltic andesite lavas, *SIAl*: Sulah andesite lavas, *QTr*: Pumiceous tuff (Ranau Formation), *Tmgr*: Granodiorite, *Tomh*: Hulusimpang Formation. Filled circles (*Kk1*) (Suharno 2003).

**III. Teori Dasar Konduktivitas Termal**

Konduktivitas panas adalah sifat termal suatu benda untuk merambatkan panas dalam suatu unit waktu melalui luas penampang tertentu yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu. Untuk bahan hayati, besarnya nilai konduktivitas panas (*k*) banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti struktur sel/fisik, komposisi kimia bahan, dan kandungan air. Variasi nilai konduktivitas panas bahan hayati lebih besar dibandingkan bahan non-hayati (Jangam and Mujumdar, 2010).

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikemukakan oleh ilmuwan Prancis J.B.J Fourier. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran yaitu

- a. Konduktivitas termal bahan.
- b. Luas penampang melalui mana panas mengalir dengan cara konduksi, yang harus diukur secara tegak lurus terhadap arah aliran panas (*A*).
- c. Gradien suhu pada penampang tersebut yaitu laju perubahan suhu *T* terhadap jarak dalam arah aliran panas  $\frac{\partial T}{\partial z}$

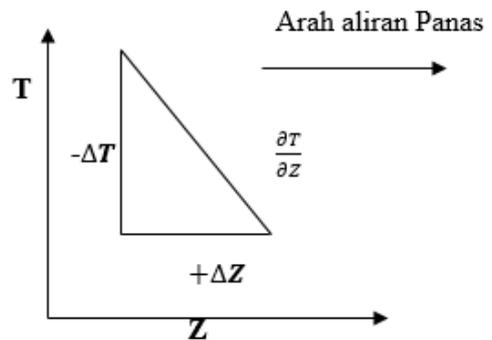
Dapat dituliskan sebagai berikut :

$$q_k = kA \frac{\partial T}{\partial z} \dots \dots \dots (1)$$

dan persamaan (1) disebut hukum fourier untuk perpindahan panas konduksi.

Mengingat Hukum Kedua Termodinamika bahwa konduktivitas panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang suhunya lebih tinggi menuju ke titik yang suhunya rendah, maka aliran konduksi panas *q* adalah positif jika gradien suhu berharga negatif. Selain itu arah

kenaikan jarak *z* merupakan arah aliran konduksi panas positif, seperti pada gambar 2.



**Gambar 2.** Arah aliran konduksi panas

Jika gradien suhu  $\frac{\partial T}{\partial z} = 1$ , maka besarnya konduktivitas panas suatu bahan merupakan jumlah energi panas yang mengalir pada suatu bahan tiap satuan luas. Suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas besar merupakan penghantar yang baik dan sering disebut konduktor panas, sebaliknya suatu bahan yang memiliki nilai konduktivitas panas kecil merupakan penghantar panas yang jelek dan disebut isolator.

**IV. Kesamaan Aspek Antara Konduktivitas Termal dengan Magnetik**

Konduksi adalah proses utama pada kasnsfer panas di lapisan kerak bumi. Persamaan diferensial perpindahan panas secua konduksi tanpa ada sumber adalah:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T \cdot k/C \cdot p \dots \dots \dots (2)$$

dimana *T* adalah temperatur, *t* adalah waktu, *k* adalah konduktivitas, *C* adalah koefisien kapasitas panas, *p* adalah densitas,  $\nabla$  adalah operasi Laplasian. Jika variasi suhu harian yang mempengaruhi harga suhu pengukuran dilapangan dihilangkan, *dT/dt* adalah 0. Sehingga persamaan diatas memenuhi persamaan Laplasian  $\nabla^2 T = 0$ , dimana medan temperatur merupakan medan potensial. Pada kondisi yang ajeg perambatan panas secara konduksi mengikuti Hukum Fourier.

$$q = k \text{ grad} T \dots \dots \dots (3)$$

sedangkan medan magnetik yang juga merupakan medan potensial dirumuskan :

$$U_a = -\text{grad} V \dots \dots \dots (4)$$

*U<sub>a</sub>* adalah medan anomali magnetik dan *V* adalah potensial magnetik.

Dari dua persamaan tersebut memiliki kesebandingan, sehingga dapat dikembangkan metode interpretasi anomali magnetik pada data suhu permukaan. Khesin B. E., Alexeyev V.V. and Eppelbaum L.V.,(1993) mengembangkan metode interpretasi kuantitatif anomaly magnetic yang disebut metode titik karakteristik. Model yang lebih sering digunakan dalam interpretasi thermal adalah bed dan silinder horizontal (Charslaw,1959). Persamaan yang dipakai untuk menggambarkan model bola dan silinder:

$$T_d = (q / k_{an}) \cdot [1 - \mu] / (2 + \mu) \cdot R^3 / (x^2 + z^2)^{3/2} \dots\dots\dots(5)$$

$$T_d = (q / k_{an}) \cdot [1 - \mu] / (1 + \mu) \cdot C^3 / (x^2 + z^2) \dots\dots\dots(6)$$

dimana  $T_d$  adalah suhu yang diakibatkan oleh suatu benda,  $k_{an}$  adalah konduktivitas termal bend.,  $\mu$  adalah perbandingan konduktivitas medium dan benda,  $R$  jari-jari bola,  $C$  jari-jari silinder,  $z$  adalah kedalaman titik pusat benda,  $x$  adalah sumbu koordinat  $x$ .

Persamaan medan magnetik komponen vertikal yang diakibatkan oleh benda berbentuk bola dan silinder horizontal adalah:

$$Z = mz / (x^2 + z^2)^{3/2} \dots\dots\dots(7)$$

$$Z = 2I.2b.z / (x^2 + z^2) \dots\dots\dots(8)$$

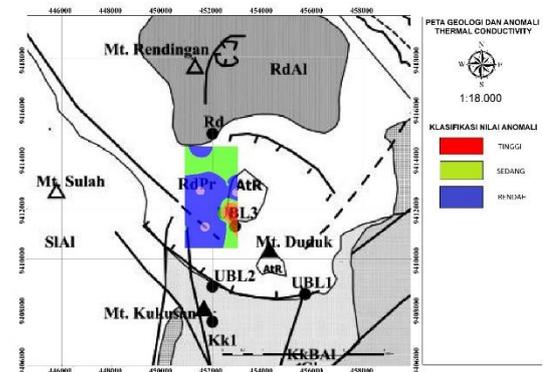
dimana  $m$  adalah kemagnetan benda,  $I$  adalah magnetisasi dan  $b$  adalah setengah lebar. Keempat persamaan diatas sangat jelas, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa medan tersebut secara fisik berbeda tetapi secara matematika sama. Oleh karena itu metode karakteristik poin dapat dipakai untuk pengolahan data suhu dekat permukaan.

**V. Pembahasan**

Dari hasil pengukuran *thermal conductivity* di daerah Ulu Belu, kemudian dilakukan pengolahan dengan tujuan mengkarakterisasi jenis lithologi dan menentukan kedalaman struktur geologi khususnya sesar secara 2D dengan menggunakan *forward modelling*. Pengolahan dilakukan pada data hasil pengukuran yang diambil pada kedalaman 1 meter dari permukaan. Pengukuran suhu dan konduktivitas difokuskan pada area rim vulkanik, sesar dan zona batuan alterasi. Luas area penelitian melingkupi luasan sebesar 160.3 x 151.3 m<sup>2</sup>. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat needle probe didukung oleh tongkat suhu 2 meter untuk memonitor fluktuasi suhu harian. Penggunaan tongkat suhu ini untuk menghilangkan efek pemanasan matahari yang mempengaruhi pengukuran suhu menggunakan needle probe. Dari setiap titik pengukuran bisa didapatkan nilai suhu batuan pada kedalaman 1 meter dibawah permukaan dan konduktivitas batuan. Pemetaan suhu yang terukur setelah terkoreksi variasi harian bervariasi nilainya dari 18,1 °C hingga 20,68 °C.

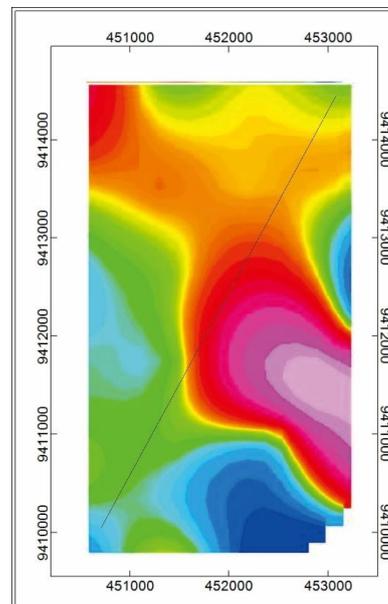
Nilai konduktivitas thermal di daerah Ulu Belu dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu keberadaan *cluster*, struktur geologi, dan keberadaan alterasi serta manifestasi. Keberadaan *cluster* sedikit mempengaruhi nilai konduktivitas thermal, hal ini dikarenakan adanya aliran fluida dari dalam bumi yang memiliki temperatur hangat hingga panas. Kemudian aliran fluida tersebut terkonduksi ke batuan-batuan sekitar pipa *cluster*. Struktur geologi sangat berpengaruh terhadap nilai konduktivitas panas, hal ini dikarenakan struktur geologi merupakan zona lemah yang dapat diterobos oleh fluida panas, sehingga transfer panas sangat tinggi oleh fluida bebas. Keberadaan alterasi berpengaruh terhadap nilai konduktivitas thermal, hal ini dikarenakan batuan alterasi merupakan batuan yang memiliki konduktivitas yang baik. Pada batuan alterasi mengandung mineral-mineral

*alunit, chlorite, hematite, pyrite, magnetite* dan *silica*, mineral-mineral tersebut memiliki sifat dan daya hantar yang sangat baik. Kemudian keberadaan manifestasi panas bumi sangat berpengaruh terhadap sebaran nilai konduktivitas thermal, hal ini dikarenakan manifestasi panas bumi memiliki temperatur sedang hingga tinggi yang dapat berpengaruh terhadap nilai konduktivitas.

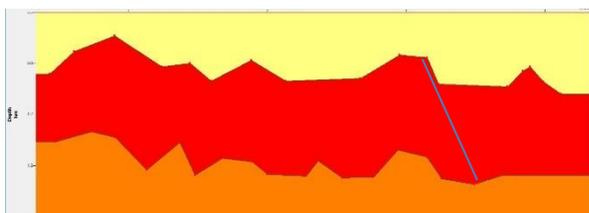


Gambar 3. Hubungan Anomali Konduktivitas dengan Geologi.

Dari hasil pemetaan hubungan antara pengolahan anomali konduktivitas dengan peta geologi menunjukkan bahwa batuan alterasi memiliki nilai konduktivitas yang tinggi. Batuan alterasi memiliki nilai konduktivitas tinggi dikarenakan pada batuan tersebut mengandung mineral konduktif seperti *magnetite, pyrite* dan *silica*. Kemudian anomali sedang ditemukan pada formasi RdPr atau Rindingan Piroklastik. Kemudian terdapat anomali tinggi pada struktur geologi, hal ini dikarenakan pada zona tersebut merupakan zona lemah yang dapat diterobos oleh fluida panas sehingga menambah nilai konduktivitasnya.

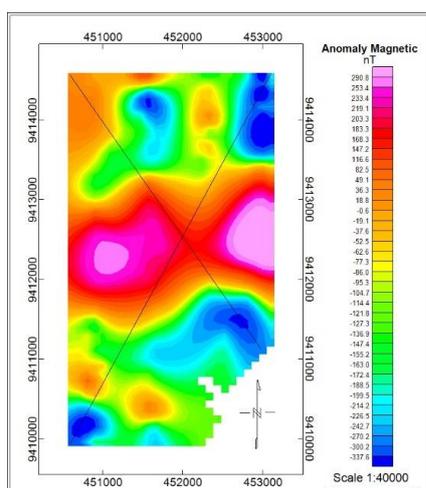


Gambar 4. Peta Anomali CT dan Garis Slice AA'

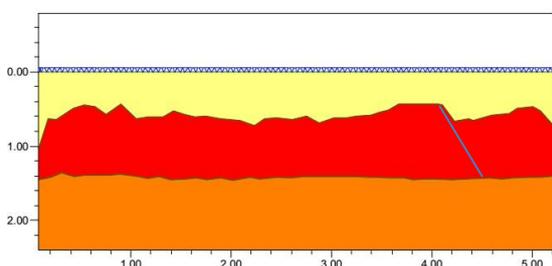


Gambar 5. Penampang 2D Sesar dari metode CT

Interpretasi kuantitatif telah dilakukan dengan menggunakan pemodelan kedepan (*forward modelling*) pada peta suhu di kedalaman 1 meter, di sepanjang garis AA'. Hasil yang didapatkan dapat diketahui posisi dari sesar normal. Pada garis AA' didapatkan sesar kedalaman dari model pada kedalaman 600 meter dibawah permukaan. Sedangkan dengan metode pemodelan yang sama pada anomali magnetik diperoleh kedalaman sesar mencapai 580 meter.



Gambar 6. Peta Anomali Magnetik dan Garis Slice AA'



Gambar 7. Penampang 2D Sesar dari metode magnetik

## VI. Kesimpulan

- Pada formasi AtR (*Alteration Rock*) memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi dan formasi RdPr (*Rindingan Piroklastik*) memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah.
- Kedalaman struktur geologi sesar pada kedalaman 580-600 meter dari permukaan.
- Nilai konduktivitas tinggi di daerah penelitian diakibatkan oleh batuan alterasi, sesar dan permeabilitas tinggi.
- Pemetaan suhu yang terukur setelah terkoreksi variasi harian bervariasi nilainya dari 18,1 °C hingga 20,68 °C.

## Daftar Pustaka

- Bemmelen, R.W. Van, 1970, The Geology of Indonesia, Vol. 1A, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago.
- Carslaw, H. S., and Jaeger, J. C., 1959, Conduction of heat in solids: Oxford Univ. Press.
- Eppelbaum L. V., 2000. Applicability of geophysical methods for localization of archaeological targets : An aintroduction. *Geoinformatics*, I I no .I: 25-34.
- Khesin B. E., Alexeyev V.V. and Eppelbaum L.V., 1993. Investigation of geophysical fields in pyrite deposits under mountainous conditions. *Journal of Applied Geophysics*, 30: 187-204.
- Khesin B. E. and Eppelbaum L.V., 1994. Near surface thermal prospecting: Review of processing and interpretation. *Geophysics*, 59: 7 44-7 52.
- Poley J.PH. and Stevenink I. V., 1970. Delineation of salt domes and surface faults by temperature measurements at a depth of approximately 2 meters : *Geophys. Prosp.*, 18, 666-700.
- Telford, W. M., Geldart., L. D., Sherifi R. E., and Keys, D. R., 1976. *Appl. Gephysics*: Cambridge Univ. Press.
- Wulandari ,F.,2004. Government tender 13 geothermal areas. *The Jakarta Post*. 03 April 2004.