

**PERMEABILITAS TANAH KANDUNGAN MERKURI TANAH DAN UDARA  
TANAH DI DAERAH KECAMATAN TANGGEUNG-CIBUNGUR, KABUPATEN  
CIANJUR**

**Zhabiyah Aqsal Delyanda<sup>1</sup>, Andri Eko Wibowo<sup>2</sup>, Aton Patonah<sup>1</sup>, Undang Mardiana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup>KST Universitas Padjadjaran

\*Korespondensi: zhabiyah18001@mail.unpad.ac.id

**ABSTRAK**

Penelitian dilakukan di Kecamatan Tanggeung-Cibungur, Kabupaten Cianjur, untuk mengevaluasi geokimia merkuri tanah sebagai metode deteksi zona permeabel yang terlibat langsung dengan siklus hidrotermal lokal. Sampel tanah diambil dari kedalaman  $\pm 1$  meter permukaan tanah dan kemudian sampel disusun sehingga diperoleh sampel berukuran *mesh* 80 dengan interval 250-2000 meter titik pengukuran yang melintasi komponen manifestasi di daerah penelitian dan selanjutnya sampel dianalisis dengan menggunakan metode instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*), atau penganalisis merkuri. Hasil penelitian menunjukkan anomali merkuri ditemukan di sekitar munculnya manifestasi air panas dengan nilai yang lebih tinggi daripada daerah yang jauh dari sumber manifestasi (dalam satuan ppb). Selain pengambilan sampel merkuri, pengambilan sampel udara tanah (%CO<sub>2</sub>) juga dilakukan untuk mengkorelasikan zona permeabilitas karena struktur, dengan area yang terkait erat dengan sistem hidrotermal. Sampel udara tanah diambil menggunakan 50 ml NaOH ( $\pm 25\%$ ) yang disambungkan oleh *handy sampler* dan terhubung langsung dengan pipa yang dihisap melalui lubang bor sampel tanah merkuri, dan selanjutnya dianalisis menggunakan metode titrimetri. Hasil analisis geokimia tanah (merkuri dan % CO<sub>2</sub>) memberikan informasi tentang aktivitas termal dan tektonik di dekat permukaan area studi yang dapat membantu dalam interpretasi sistem hidrotermal yang ada di area studi.

**Kata Kunci:** Air Raksa, *Atomic Absorption Spectrometry*, Titrimetri, Permeabilitas, Sistem Hidrotermal, Tanggeung – Cibungur, Kabupaten Cianjur

**ABSTRACT**

*The study was conducted in Tanggeung - Cibungur Subdistrict, Cianjur Regency, to analyze the geochemistry of soil mercury as a tool for detecting permeable zones that are directly involved in the local hydrothermal cycle. Soil samples are taken from depths 1 meter below the surface and then arranged so that a sample with a mesh-sized size of 80 with an interval of 250-2000 meters of measurement points that cross the manifestation component in the study area. The sample is then analyzed with the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) instrument method, or mercury analyzer. Mercury anomalies with greater values were discovered in regions close to the source of hot water manifestations, as compared to regions farther from the source (in ppb units). In addition to mercury monitoring, ground air sampling (%CO<sub>2</sub>) is conducted in order to correlate permeability zones caused by structures with regions directly associated with the hydrothermal system. Soil air samples were collected using 50 ml of NaOH (25% concentration) attached to a handy sampler and directly connected*

*to a pipe inserted into the drill hole of the mercury soil sample, then analyzed using the titrimetry technique. The geochemical results of soil geochemical analysis (mercury and % CO<sub>2</sub>) therefore provide information on thermal and tectonic activity close to the surface of the study area, which can assist in the interpretation of existing hydrothermal systems in the study area.*

**Keywords:** *Atomic Absorption Spectrometry, Titrimetric, Mercury, Permeability, Hydrothermal System, Tanggeung – Cibungur, Cianjur District*

## **PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi listrik Indonesia di tahun 2022 mengalami kenaikan dari tahun sebelumnya sebanyak 1.123 kwh/kapita. Saat ini kapasitas pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (EBT) sebesar 11.152 MW dan 2,17 GW berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Panasbumi (PLTP) (EBTKE, 2022).

Menurut Enderwati (2021), Indonesia memiliki potensi panasbumi sebanyak 23,76 GW dan pemanfaatannya masih berada di angka 2,17 GW atau hanya 9,1% dari total potensi yang ada.

Penelitian ini dilakukan di daerah Cianjur Selatan karena menurut penelitian sebelumnya daerah ini memiliki potensi panasbumi sebanyak 100 MW. Penelitian dilakukan bersama tim survey panasbumi, badan geologi untuk mendeteksi cadangan terduga dari potensi panasbumi yang ada di daerah penelitian, salah satunya adalah menentukan zona permeabel untuk melihat tingkat intensitas fluida panasbumi yang keluar ke permukaan

Permeabilitas dapat diperkirakan dengan melihat variasi komposisi gas tanah seperti merkuri dan karbon dioksida dapat mengungkapkan tempat-tempat dengan permeabilitas tinggi. (Fournier, 1991)

## **GEOLOGI REGIONAL**

### **Stratigrafi Regional**

Berdasarkan Koesmono, dkk (1996), Stratigrafi regional Cianjur selatan terdiri atas Formasi Jampang, Anggota Kadupandak Formasi Bentang, Formasi Bentang, Formasi Besar, Formasi Koleberes, Intrusi Andesit, dan Aluvium

#### **a. Formasi Jampang**

Terdiri atas 3 satuan yaitu : Breksi Vulkanik , Tufa dari anggota Cikarang dan Lava dari anggota Ciseureuh. Satuan ini yang merupakan bagian dari Formasi Jampang menunjukkan hubungan stratigrafi tidak selaras dengan Formasi Rajamandala dan Formasi Ciletuh. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut. dan diperkirakan terbentuk pada umur Miosen Awal.

#### **b. Anggota Kadupandak**

Formasi Besar Terdiri atas batulempung kenyal, batulanau dan batulempung tufan, umumnya kelabu sampai hitam, secara setempat kehitam-hitaman bersisipan dengan tuf batuapungan, lapili dan breksi andesit. Moluska, sisa tumbuhan dan lapisan tipis batubara muda terdapat di beberapa tempat. Tebal kira-kira 80 m. Anggota ini tersingkap di sekitar desa Kadupandak dan diperkirakan berumur Miosen Akhir.

#### **c. Formasi Bentang**

Terdiri atas runtutan turbidit berupa batupasir tuf berlapis baik, kurang mampat; tuf kristal, dan tuf batuapungan dengan sisipan lempung globigerina, batulanau, batulempung napalan; dan breksi andesit, konglomerat, tuf lapili dan breksi tuf. Di lapisan atas, batulempung dan batulanau menguasai. Breksi batuapung tersusun dari kepingan bauan bergaris tengah 5 cm. Struktur perlapisan dan pembebanan. Lapisan batubarasetebal 20 cm tersingkap di utara Kadupandak. Lensa batugamping yang berpori, dan lapisan berfosil terdapat pada atau dekat kontak dengan Formasi Koleberes. Dari beberapa fosil yang ditemukan menunjukkan umur Miosen Akhir dengan lingkungan pengendapan laut dangkal-dalam terbuka. Tebal satuan 300m. Formasi ini menindih selaras Formasi Cimandiri.

**d. Formasi Besar**

Terdiri atas breksi andesit; breksi tuf, tuf kristal dan batulempung. Ukuran maksimal komponen breksi lebih dari 1 meter. Matriks terdiri dari tuf kristal pejal kelabu atau batupasir tuf. Batulempung berlapis kurang baik, kurang gelap, berupa lensa-lensa. Lingkungan pengendapan darat-laut dangkal. Bagian bawah runtutan ini diduga menjemari dengan Formasi Koleberes dan bagian atas Formasi Bentang. Tebal formasi ini adalah sekitar 750m.

**e. Formasi Koleberes**

Terdiri atas batupasir tuf berlapis baik, kurang mampat, dan tuf kristal; dengan sisipan tuf, breksi tuf batuapung dan breksi bersusunan andesit. Batupasir kelabu kecoklatan, terutama terdiri dari batuan andesitan dengan sejumlah batuapung. Dari sejumlah fosil yang ditemukan, formasi ini terbentuk pada Akhir Miosen sampai Pliosen. Lingkungan pengendapan laut terbuka. Tebal formasi kira-kira 350 m. Formasi ini menindih selaras Formasi Bentang dan ditindih takselaras oleh satuan Lahar dan Lava G. Kende (Koesmono,dkk, 1996).

**f. Intrusi Andesit**

Merupakan jenis Hornblende-andesit yang memiliki struktur batuan beku columnar joint.

**g. Aluvium**

Terdiri atas batu lepasan yang berukuran lempung, lanau, pasir, dan kerikil yang menempati lembah-lembah sungai utama setebal 5 meter.

### **Karakteristik Permeabilitas**

Sifat batuan yang berkaitan dengan fluida salah satunya ada permeabilitas dan porositas. Porositas batuan adalah proporsi volume batuan yang tidak ditempati oleh

material padat melainkan diisi oleh gas atau cairan (Nichols, 2009) Porositas itu sendiri terdapat dua jenis yaitu, porositas primer dan sekunder. Porositas primer adalah porositas yang terbentuk bersamaan saat proses pengendapan terjadi, yang biasanya terdapat di antara butiran atau porositas antar partikel (*interparticle porosity*), dengan beberapa sedimen juga memiliki porositas intra partikel yang dibentuk oleh rongga dalam butir, biasanya dalam struktur organisme bercangkang. Semen terbentuk di sekitar tepi butir dan tumbuh ke dalam ruang pori yang mengurangi porositas. Porositas sekunder terbentuk setelah pengendapan dan merupakan hasil dari proses diagenetik: paling umum ini terjadi karena air pori secara selektif melarutkan bagian-bagian batuan seperti cangkang yang terbuat dari kalsium karbonat.

Permeabilitas adalah kemudahan fluida melewati volume batuan (Nichols, 2009). Batuan mungkin memiliki porositas tinggi tetapi permeabilitas rendah jika sebagian besar ruang pori tidak terhubung satu sama lain: ini dapat terjadi pada batupasir berpori yang mengembangkan semen parsial yang menghalangi 'tenggorokan' antara ruang pori antar partikel, atau batugamping yang memiliki porositas yang disegel di dalam ruang fosil bercangkang. Batuan juga dapat memiliki porositas yang relatif rendah tetapi sangat permeabel jika mengandung sejumlah besar retakan yang saling berhubungan. Pertumbuhan semen cenderung menutup celah di antara butiran sehingga mengurangi permeabilitas. Ruang pori dapat terisi penuh oleh semen yang menghasilkan litifikasi sedimen yang lengkap dan pengurangan porositas dan permeabilitas menjadi nol.

Permeabilitas dapat diperkirakan dengan cara melihat variasi komposisi gas tanah seperti merkuri dan karbon dioksida

dapat mengungkapkan tempat-tempat dengan permeabilitas tinggi (Fournier R., 1991).

## METODE PENELITIAN

Untuk penyusunan peta rencana kerja, perlu dilakukan penentuan titik ukur geokimia. Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan titik ukur.

1. Penentuan titik pengukuran harus memperhatikan kondisi geologi, keberadaan manifestasi panas bumi, dan memperhitungkan faktor-faktor kesulitan medan (topografi).
2. Distribusi titik ukur dapat berupa grid atau acak dengan spasi berkisar antara 250 – 2000 m.
3. Penentuan titik ukur dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur topografi yang dapat memenuhi akurasi ketinggian maksimum 1 meter dan akurasi koordinat maksimum 5 meter, seperti *Theodolite (T0)*, *Laser Beam (Electronic Distance Measurement)*, dan *GPS (differential system)*.
4. Sistem koordinat titik ukur harus diproyeksikan ke dalam sistem koordinat geodetik yang biasa digunakan di Indonesia, misalnya *Universal Traverse Mercator (UTM) - World Geodetic System (WGS) 84* dan *Latitude/Longitude-WGS84*

### Pengumpulan Data Hg Tanah dan Udara Tanah

Data sampel ini diperoleh dari pengambilan tanah dengan kedalaman 1 meter di bawah permukaan menggunakan bor dan sampel tanah diambil dari dasar tanah dari lubang bor, dan gas CO<sub>2</sub> tanah

diperoleh dari hasil uap tanah yang dihisap menggunakan alat vakum dengan cairan NaOH 25%.

### Analisis Hg tanah

Sebelum menganalisis tanah Hg, tahapan persiapan dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Sampel tanah dikeringudarkan atau dianginangin pada temperatur kamar, hindari penjemuran dibawah matahari agar tidak terjadi penguapan unsur Hg.
2. Sampel tanah kering dihaluskan dengan menggunakan penumbuk dan lumping porselin untuk melumatkan butiran-butiran yang menggumpal. Dalam hal ini sampel tanah tidak boleh digerus, sebab penggerusan dapat mengakibatkan penurunan konsentrasi unsur.
3. Lumpang dan penumbuk porselin harus selalu dibersihkan untuk setiap penghalusan conto batuan agar tidak terjadi kontaminasi silang antar sampel.
4. Sampel-sampel diayak dengan saringan berukuran 80 mesh agar homogenisasi fraksi tercapai.
5. Sisa sampel yang tidak tersaring pada saringan berukuran 80 mesh disimpan sebagai arsip.
6. Randomisasi sampel dilakukan terhadap sampel dan duplikat. Duplikasi dilakukan minimal untuk setiap kelipatan 10 sampel. Ini dilakukan untuk mengevaluasi presisi analisis.

### Analisis Udara Tanah (CO<sub>2</sub>)

Analisis sampel CO<sub>2</sub> udara tanah dilakukan untuk mengetahui konsentrasi

CO<sub>2</sub> di setiap titik pengambilan sampel. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri. Data hasil titrasi dikoreksi dengan temperatur dan tekanan udara tanah dalam lubang bor.

1. Pengambilan sampel udara tanah dilakukan langsung pada lubang bor yang sama pada pengambilan sampel tanah untuk analisis Hg.
2. Pipa PVC dimasukkan kedalam lubang bor bekas pengambilan sampel tanah kemudian dengan selang dihubungkan pada CO<sub>2</sub> handy sampler.
3. Lubang bor ditutup bagian atasnya, udara dalam lubang dikeluarkan atau divakumkan selama kurang lebih 5 (lima) menit.
4. Disiapkan tabung gelas CO<sub>2</sub> handy sampler yang diisi dengan 50 ml larutan NaOH.
5. Alat CO<sub>2</sub> handy sampler dikondisikan selama kurang lebih 5 (lima) menit agar terjadi penguapan gas CO<sub>2</sub> dari dalam tanah ke dalam lubang.
6. Sampel udara tanah (yang berisi gas CO<sub>2</sub>) dihisap dengan kecepatan 0.5 liter per menit dan dialirkan kedalam larutan NaOH.
7. Larutan NaOH yang telah mengandung sampel udara tanah atau gas CO<sub>2</sub> dalam tabung tersebut dimasukkan kedalam botol plastik sampel yang bersih, ditutup rapat dengan diberi label bernomor sesuai dengan lokasi titik amat.
8. Temperatur dalam lubang bor diukur dengan menggunakan *thermocouple*.

### Kalibrasi Sampel

### Sampel Merkuri Tanah

Sampel tanah yang diperoleh dari hasil preparasi, dianalisis dengan menggunakan metode instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*), atau *mercury analyzer*. Pada tahapan ini juga dilakukan analisis konsentrasi H<sub>2</sub>O- untuk mengoreksi konsentrasi Hg (kondisi analisis). Konsentrasi Hg hasil koreksi (H<sub>gc</sub>) diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$H_{gc} = (100 \times H_{ga}) / (100 - H_{2O-}) \dots\dots(1)$$

dimana,

H<sub>gc</sub> = konsentrasi Hg setelah dikoreksi (ppb)

H<sub>ga</sub> = konsentrasi Hg hasil analisis dengan instrumen AAS (ppb)

H<sub>2</sub>O- = konsentrasi H<sub>2</sub>O- hasil analisis (%)

### Sampel Udara Tanah (CO<sub>2</sub>)

Penghitungan konsentrasi CO<sub>2</sub> (%), beserta koreksinya menggunakan persamaan seperti berikut.

$$CO_2 = (A-B) \times C \times 44 \times D/E \times 22.4 / ((44 \times (1 \times 273) / (F + 273)) \times G \times H / 1 \times 1000) \times 100 \dots\dots(2)$$

Keterangan:

A = HCl yang digunakan dalam titrasi sampel (ml)

B = HCl yang digunakan dalam titrasi blanko (ml)

C = konsentrasi HCl (N)

D = NaOH yang digunakan pada pengambilan sampel (ml)

E = NaOH yang digunakan pada titrasi sampel dan blanko (ml)

F = temperatur udara tanah lubang bor (°C)

G = tekanan udara pada saat pengambilan sampel

(hPa)

H = faktor perkalian (0.0009869233).

I

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Lapangan

Berdasarkan hasil pengambilan data dan pengolahannya didapatkan sebanyak 102 titik ukur tanah yang dianalisis dan juga didapatkan sebanyak 4 manifestasi air panas (**Gambar 3**), yaitu :

1. Air panas Tanggeung (APTG-1) yang letaknya tepat di bawah jembatan Leuwilutung, manifestasi ini keluar langsung dari rekahan yang berada pada batuan berlitologi konglomerat,
2. Air panas Parigi (APPRG) yang letaknya berada di sawah desa Parigi serta terdapat kolam penampungan air panas tepat di samping sawah desa Parigi, manifestasi ini keluar langsung dari rekahan batuan berlitologi batupasir,
3. Air panas Cibungur (APCBG) letaknya berada dekat dengan jembatan Cibungur pembatas Cianjur dan Sukabumi, manifestasi ini berada di kolam buatan warga setempat, manifestasi berupa keluaran langsung dari rekahan batuan berlitologi breksi, dan
4. Air hangat Cihaur (APCHR) letaknya berada di sawah desa Cihaur, manifestasi merupakan keluaran langsung dari batuan berlitologi batupasir.

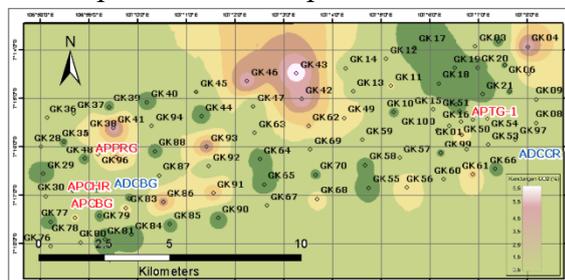
### Udara Tanah (%CO<sub>2</sub>)

Berdasarkan hasil pengolahan laboratorium dan perhitungan rumus %CO<sub>2</sub> yang kemudian hasil datanya diolah menggunakan perangkat lunak *Arcmap* dengan sistem analisis intepolasi (**Gambar 1**) didapatkan bahwa daerah yang memiliki nilai persentase udara tanah yang tinggi didapatkan di titik sekitar manifestasi blok barat (APPRG, APCBG, dan APCHR), di titik ukur GK-41, GK-42, GK-43, GK-46, dan GK-96 memiliki nilai persentase yang tinggi (diatas 4,5 %), sedangkan di sekitar manifestasi blok timur (APTG-1) memiliki nilai persentase udara tanah yang rendah (dibawah 0,5%). Daerah yang memiliki nilai persentase udara tanah yang tinggi menunjukkan bahwa di daerah tersebut memiliki nilai porositas tanah yang tinggi, sehingga dalam sistem panasbumi dapat disebut sebagai *Recharge Zone* dimana daerah ini merupakan tempat air meteorik masuk kedalam bawah permukaan dan pada akhirnya masuk kedalam sistem panasbumi dan berperan sebagai salah satu pemasok fluida panasbumi.

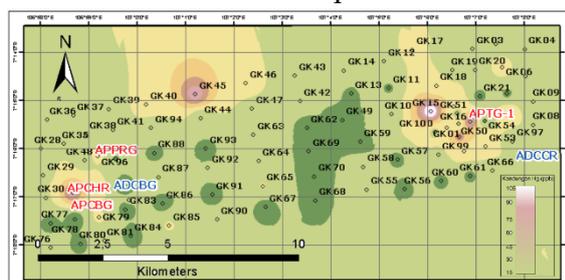
### Merkuri Tanah (Hg)

Berdasarkan hasil pengolahan laboratorium dengan metode instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) yang kemudian datanya diolah kembali menggunakan perangkat lunak *Arcmap* dengan sistem interpolasi (**Gambar 2**) didapatkan bahwa nilai merkuri yang tinggi didapatkan disekitar semua manifestasi (APTG-1, APPRG, APCBG, dan APCHR) dan di titik GK-45 (di atas 60 *ppb*). Nilai merkuri tanah yang tinggi dapat menunjukkan bahwa adanya alterasi sekunder yang terjadi akibat tanah yang teraliri oleh air manifestasi sehingga merkuri yang berasal dari bawah permukaan bisa terendapkan di permukaan

tanah. Peristiwa ini juga dapat menandakan bahwa keterlibatan suatu daerah dengan sistem panasbumi cukup intens.



Gambar 1 Peta Interpolasi %CO<sub>2</sub>



Gambar 2 Peta Interpolasi Hg (ppb)

### Penampang Merkuri

Berdasarkan hasil peta interpolasi yangtelah diolah kemudian dibuatkan 3 penampang untuk melihat keterlibatan profil topografi dengan intensitas kegiatan panasbumi, (**Gambar 3**):

1. Penampang A-A' yang memperlihatkan bahwa daerah yang tinggi akan nilai merkuri terdapat di sekitar titik manifestasi APTG-1 dimana nilainya bisa mencapai 90 ppb yang semakin berkurang hingga 60 ppb dengan radius ±1,5 km menjauhi titik manifestasi dan di titik APCBG memiliki nilai 92 ppb yang semakin berkurang nilainya hingga 60 ppb dengan radius ±600 m menjauhi titik manifestasi. Selain itu di titik APCHR memiliki nilai 17 ppb, nilai merkuri di titik APCHR tergolong kecil dibandingkan nilai merkuri di titik manifestasi lainnya, rendahnya nilai merkuri di sekitar

titik APCHR dapat menunjukkan bahwa temperatur air tidak terlalu panas sehingga tidak mampu melarutkan merkuri yang begitu banyak dari bawah permukaan hingga ke permukaan.

2. Penampang B-B' yang memperlihatkan bahwa daerah yang tinggi akan nilai merkuri terdapat di barat laut titik manifestasi APTG1 dimana nilainya mencapai 90 ppb yang semakin berkurang hingga 60 ppb dengan radius 500-1000 meter kemudian nilai merkuri dari tenggara titik APTG-1 memiliki nilai 75 ppb yang semakin berkurang hingga 60 ppb dengan radius ±1 km.
3. Penampang C-C' yang memperlihatkan bahwa terdapat nilai Hg yang tinggi disekitar titik manifestasi APPRG dan APCBG dimana nilai nya mencapai 90 ppb yang berkurang hingga 60 ppb dengan radius, nilai merkuri yang tinggi juga ditemukan di titik ukur GK45 dimana nilainya mencapai 90 ppb yang berkurang hingga 60 ppb dengan radius ±5 km.

Tingginya nilai merkuri di sekitar titik GK-45 dapat menandakan adanya kegiatan hidrotermal yang tinggi namun tidak terdeteksi oleh tim survei geokimia ataupun adanya kontaminan merkuri yang berasal dari tambang emas ataupun tambang lainnya yang menggunakan merkuri untuk produksi logam mulia.



menyesuaikan dengan arah arus sungai utama yaitu sungai Cibuni.

Hal tersebut yang didapatkan dari peta interpolasi udara tanah adalah zona *Recharge* dimana pada zona ini merupakan masuknya air meteorik ke dalam bawah permukaan menuju reservoir utama dari sistem panasbumi Tanggeung-Cibungur, daerah yang merupakan zona *Recharge* ini berada di titik ukur GK-04, GK-42, GK-43, GK-46, GK47, GK-86, GK-91, dan GK-93 serta disekitar manifestasi blok barat. Selanjutnya, hasil interpolasi merkuri tanah dan penampang A, penampang B, dan penampang C, didapatkan bahwa dalam radius 500-1000 meter dari titik manifestasi APTG-1 merupakan *Upflow* karena memiliki elevasi yang lebih tinggi dan diduga dekat dari sumber panas. Selain itu, pada titik ini terukur temperatur manifestasi paling panas dibanding manifestasi yang ada di blok barat. Di blok barat dari radius 1 hingga 5 km dari titik keluarnya manifestasi merupakan zona *outflow*, sementara zona *caprock* terdapat di antara titik manifestasi blok timur (APTG-1) dan blok barat (APCBG, APPRG, dan APCHR).

## DAFTAR PUSTAKA

- EBTKE, H. (2022). *Capaian Kinerja Tahun 2021 dan Program Kerja 2022 Sektor ESDM*. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Fournier, R. (1991). The transition from hydrostatic to greater than hydrostatic fluid pressure in presently active continental hydrothermal systems in crystalline rock. *Geophysical Research Letters* 18(5), 955-958.
- Giggenbach,, W. F. (1995). Variations in the chemical and isotopic composition of fluids discharged from the Taupo volcanic zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 68, 89-116.
- Koesmono, M., Kusnama, & N. Suwarna. (1996). PETA GEOLOGI LEMBAR SINDANGBARANG DAN BANDARWARU, JAWA EDISI KE 2. *Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi*.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy 2nd Edition*. west sunsex UK: Wiley-Blackwell.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy 2nd Edition*. Chicheste, UK: Wiley-Blackwell.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids, Chemistry & Expoloration Techniques*. Berlin: Springer Verlag.