



Pemodelan rekahan di sekitar manifestasi panas bumi Desa Penindaian Kecamatan Semendo Darat Laut Kabupaten Muara Enim dengan metode *Self Potential* menggunakan perangkat lunak Google Collab

EKA GUSMAN¹, FRINSYAH VIRGO^{1,2*}, M YUSUP NUR KHAKIM^{1,2}, AND ALEXANDER Y ELAKE³

¹ Program Studi S2 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam, Universitas Sriwijaya; ² Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatahuan Alam, Universitas Sriwijaya; ³ Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Pattimura

Kata kunci:

energi panas bumi,
google collab,
model lempeng tipis,
rekahan,
self potential

ABSTRAK: Keberadaan manifestasi panasbumi di Sumatera Selatan cukup banyak, namun belum diekplorasi secara maksimal. Salah satunya adalah manifestasi yang berada di Desa Penindaian, Kecamatan Semende Darat Laut, Kabupaten Muara Enim. Manifestasinya berupa mata air panas, lumpur panas dan uap panas. Fluida panas ini dapat naik dan muncul ke permukaan disebabkan oleh adanya rekahan batuan. Rekahan ini bertindak sebagai jalur atau kondukt yang dapat dilewatinya fluida panas menuju permukaan. Tujuan dari penelitian adalah melakukan pemodelan untuk mempelajari pola rekahan yang ada di bawah manifestasi yang ada di Desa Penindaian ini. Metoda yang digunakan untuk pengambilan data menggunakan metoda *Self Potential*. Untuk pemodelan rekahan menggunakan Persamaan Model Lempeng Tipis dari Rao dan Babu (1983), dan perangkat lunak *Google Collab*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rekahan berada pada kedalaman 21,99 meter, panjang rekahan adalah 42,54 meter dan sudut kemiringan rekahan dari permukaan adalah 30,45°.

Keywords:

fracture,
geothermal energy,
google collab,
self potential,
thin plate model

ABSTRACT: The existence of geothermal manifestations in South Sumatra is quite a lot but has not been explored to its full potential maximally. One of them is a manifestation located in Penindaian Village, Semende Darat Subdistrict Laut, Muara Enim Regency. The manifestation is in the form of hot springs, hot mud, and hot steam. This hot fluid can rise and appear on the surface due to rock fractures. by the presence of rock fractures. These fractures act as pathways or conduits to pass the hot fluid to the surface. The research aims to conduct modeling to study the fracture patterns that exist under the manifestations in Penindaian Village. The method used for data collection is the Self-potential method. The Thin Plate Model Equation of Rao and Babu (1983) and Google Collab software were used for fracture modeling. Results The results show that the fracture is at a depth of 21.99 meters, and the fracture length is 42.54 meters. It is 42.54 meters, and the inclination angle of the fracture from the surface is 30.45°.

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat seiring dengan adanya kebijakan pemerintah yang berfokus pada pemenuhan kebutuhan energi nasional. Oleh karena itu, penelitian untuk mencari energi alternatif sebagai pengganti energi fosil terus berkembang. Sumber energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia salah satunya adalah energi panas bumi. Energi panas bumi merupakan energi panas yang terjadi secara alami di bawah permukaan bumi, terperangkap cukup dekat dengan permukaan bumi dan dapat dimanfaatkan secara ekonomis [1]. Potensi energi panas bumi Indonesia yang mencapai 27

GWe erat kaitannya dengan posisi Indonesia dalam struktur tektonik dunia [2]. Artinya Indonesia mempunyai potensi energi panas bumi terbesar di dunia [3]. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang tersebar di berbagai pulau mulai dari Sumatera hingga Papua Barat. Potensi energi panas bumi di Indonesia sangat besar dan dapat dikembangkan serta dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Salah satu pulau di Indonesia yang memiliki potensi tersebut adalah Pulau Sumatera. Total potensinya mencapai 13.516 MW yang tersebar di 86 lokasi potensial [4]. Adapun potensi panas bumi Sumatera Selatan diperkirakan sekitar 4.885 MW, dengan sumber daya terutama terletak di sepanjang bagian barat pulau [5]

* Corresponding Author: frinsyah_virgo@mipa.unsri.ac.id

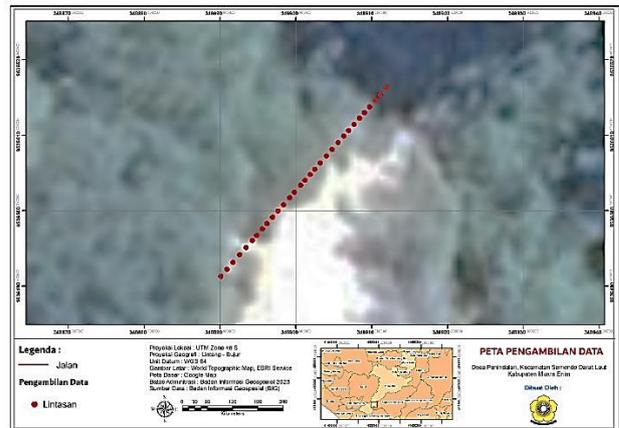
Salah satu kawasan di Sumatera Selatan yang memiliki manifestasi panas bumi namun belum tereksplorasi adalah Desa Penindaian di Kecamatan Semende Darat Laut, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. Manifestasinya berupa mata air panas, lumpur panas dan uap panas. Salah satu metode geofisika yang umum digunakan dalam eksplorasi panas bumi adalah metode *Self Potential* (SP). Kelebihan dari metode SP adalah metode ini memberikan respon yang sangat baik terhadap target bawah permukaan yang konduktif seperti Aliran fluida di bawah permukaan dan dapat diterapkan pada area dengan medan yang tidak rata [6], sehingga dengan metode SP bisa mendeteksi pergerakan fluida panas bawah permukaan dan anomali termal, seperti sumber mata air panas.

2 METODE

Pada penelitian SP ini, digunakan beberapa jenis peralatan dan bahan. Beberapa peralatan yang digunakan adalah 6 buah *porouspot* sebagai sensor untuk mengukur perbedaan tegangan listrik di bawah permukaan, 1 buah voltmeter dengan ketelitian 0,01mV yang berfungsi untuk mengukur beda tegangan, 2 buah rol meteran yang digunakan dalam pengukuran jarak, seperangkat kabel penghubung untuk menghubungkan *porouspot* dengan voltmeter, 1 buah GPS untuk menentukan koordinat lokasi dalam pengambilan data, sedangkan bahan yang digunakan sebagai cairan untuk *porouspot* adalah larutan Tembaga Sulfat ($CuSO_4$) sebanyak 2 kg [7].

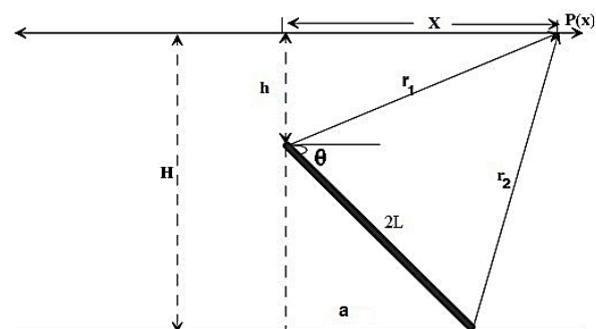
Pengambilan data dilapangan pada SP ini menggunakan metode *leap frog*, elektroda pertama dibiarkan tetap diluar daerah pengukuran (teknik *base*), sedangkan untuk elektroda kedua dipindah sepanjang garis acuan pada jarak tetap (teknik *rover*) yang kemudian diukur beda tegangannya. Setelah data pengukuran didapat, selanjutnya dilakukan pengolahan data sesuai data *base* dan data *rover*. Data *base* digunakan untuk koreksi variasi harian, sedangkan data *rover* digunakan untuk area yang akan diukur. Setelah dilakukan perhitungan nilai rata-rata baik tegangan *base* maupun beda tegangan *rover*, selanjutnya data rata-rata yang didapat dilakukan koreksi *leaf frog*. koreksi *leap frog* merupakan koreksi yang dilakukan untuk mengurangi ketidaktektian data beda potential yang berasal dari gangguan pada *porouspot* dan lingkungan. Dari data yang terkoreksi *leap frog*, akan didapat anomali potensial alami. Dengan membuat *gridding* data, selanjutnya akan dibentuk grafik hubungan beda tegangan terhadap jarak [8].

Adapun lokasi dan lintasan pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi dan lintasan pengambilan data.

Keberadaan rekahan di bawah permukaan sebagai jalur fluida panas untuk dapat mengalir menuju permukaan dapat dianalogikan sebagai sebuah lempeng tipis. Menurut Atchuta Rao dan Ram Babu (1983) model lempeng dua dimensi digunakan untuk interpretasi data *Self potential* (SP) dengan asumsi panjang tak berhingga. Lempeng miring yang tertanam di tanah dianggap sebagai sumber anomali SP, yang terletak pada kedalaman dari ujung atas (h) hingga kedalaman ujung bawah (H) dengan panjang lempeng ($2L$). Dalam sistem koordinat kartesian, O tepat di ujung batas lempeng, sumbu Y terletak pada arah strike, adapun sumbu Z adalah arah vertikal. Sudut kemiringan lempeng atau dip (θ) diukur searah jarum jam terhadap sumbu X positif. Model lempeng tipis yang dikembangkan oleh Rao dan Babu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model lempeng tipis [9]

Selanjutnya untuk kasus model lempeng ini nilai SP yang terukur di setiap titik P sepanjang profil yang sejajar dengan sumbu X , dirumuskan dengan persamaan (1).

$$V_x = M \cdot \ln \left(\frac{R_1^2}{R_2^2} \right) \tag{1}$$

Jika R_1 dan R_2 pada persamaan (1) dinyatakan dalam x , maka didapatkan:

$$V_x = M \cdot \ln \left(\frac{(x^2 + h^2)}{((x - a)^2 + H^2)} \right) \tag{2}$$

dengan $M = \frac{I \cdot \rho}{2\pi}$ dan $a = \frac{H-h}{\tan \theta}$, I adalah rapat arus per satuan panjang (A/m^3), ρ adalah resistivitas medium batuan ($\Omega \cdot m$), x adalah jarak titik origin (0,0) ke titik P (meter), h adalah kedalaman ujung atas lempeng (meter), H adalah kedalaman ujung bawah lempeng (meter), dan θ adalah sudut kemiringan lempeng terhadap arah horisontal.

Jika ditentukan x_0 adalah $\frac{1}{2}$ jarak dari V_{max} ke V_{min} , x_s adalah jarak simetris yaitu jarak dari titik origin ke titik yang mempunyai amplitudo sama tetapi berlainan tanda, x_{max} adalah jarak titik origin ke titik yang memiliki nilai beda tegangan maksimum, x_{min} adalah jarak titik origin ke titik yang mempunyai beda tegangan minimum, sehingga parameter-parameter dari lempeng yang terdiri dari kedalaman atas (h), kedalaman bawah (H), serta kemiringan benda anomali (θ) dapat dihitung dari parameter x_0 , x_s , x_{max} , dan x_{min} dengan menggunakan persamaan (3), (4), (5) dan (6)

$$H = (|x_{max} - x_{min}|)^{1/2} \tag{3}$$

$$a = \frac{x^2 - h^2}{2x_0} \tag{4}$$

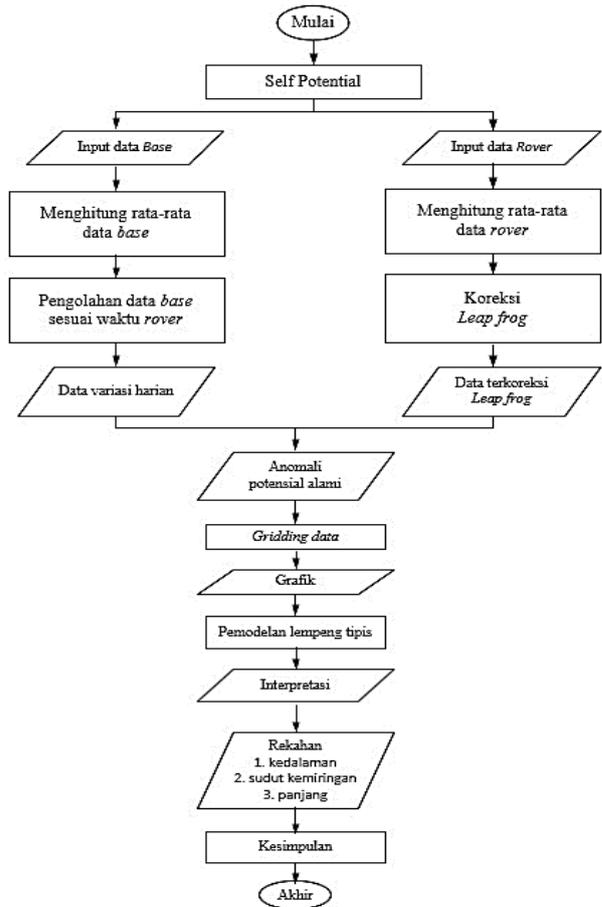
$$H = (x^2 - a^2)^{1/2} \tag{5}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H-h}{a} \right) \tag{6}$$

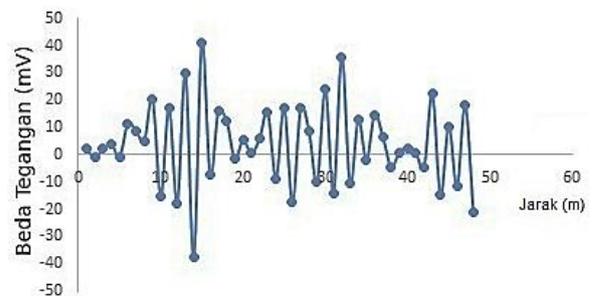
Selanjutnya dibuat beberapa garis di atas peta kontur yang diduga sebagai sumber anomali, hingga diperoleh beberapa kurva profil beda tegangan. Dari data profil yang diperoleh, selanjutnya dihitung kedalaman benda anomali yang diperkirakan sebagai reservoir panas bumi berupa lapisan batuan yang berisi fluida panas di daerah penelitian menggunakan teori Rao dan Ram Babu (1983). Model benda anomali berupa lempeng miring yang dapat diasumsikan sebagai lapisan batuan bawah permukaan yang berisi fluida panas [10]. Dengan menggunakan pemodelan lempeng tipis ini, selanjutnya akan dimodelkan dengan menggunakan perangkat Google Collab. Diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data profil hasil pengukuran SP pada daerah manifestasi Gemuhak Bedug Penindaian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

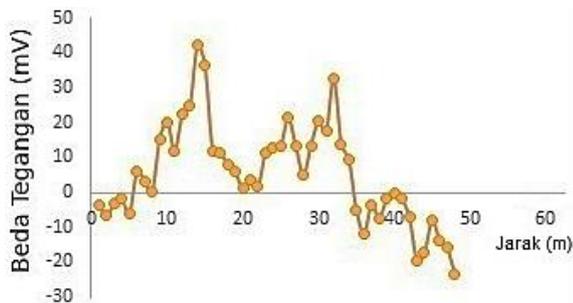


Gambar 4. Profil data hasil pengukuran SP pada daerah manifestasi Gemuhak Bedug Penindaian.

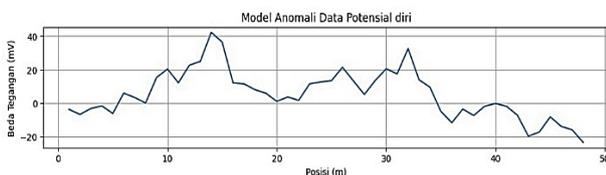
Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai beda tegangan yang terukur bervariasi antara sekitar -40 mV hingga 42 mV. Beda tegangan ini menunjukkan variasi beda tegangan listrik alami yang terukur di sepanjang lintasan pengukuran. Pada grafik terlihat bahwa nilai beda tegangan berulang kali naik dan turun, hal ini disebabkan adanya perbedaan panas yang dialami pada area pengukuran. Kemudian profil data SP yang telah terkoreksi *leap frog* dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 5 menunjukkan bahwa beda tegangan sangat erat kaitannya dengan aktivitas geotermal.

Daerah dengan tegangan tinggi merupakan indikasi adanya aktivitas fluida panas, sedangkan daerah dengan tegangan rendah atau negatif menunjukkan pengurangan aktivitas panas. Selanjutnya, dengan profil data SP dapat dibentuk kedalam perangkat lunak *Google Collab* seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Profil data SP lintasan permukaan setelah dikoreksi leap fog



Gambar 6. Profil data SP dalam perangkat lunak Google Collab

Pada Gambar 6 terlihat bahwa di awal grafik pada rentang posisi 1 – 5 meter beda tegangan antara -3,72 mV hingga -6,17 mV menunjukkan adanya aliran yang berasal dari daerah dingin. Pada rentang posisi 6 -10 meter, beda tegangan menunjukkan fluktuasi antara 5 mV hingga 20 mV, hal ini berarti di bawah permukaan terdapat zona dengan aktivitas fluida yang stabil. Beda tegangan yang di zona positif ini diduga menandakan adanya batuan yang permeabel yang memungkinkan terjadinya aliran fluida di dalam batuan bawah permukaan [11].

Pada rentang posisi 11 - 20 meter beda tegangan mengalami kenaikan tajam hingga mencapai puncak maksimum sekitar 42,16 mV di posisi 14 meter, kemudian menurun tajam setelahnya. Puncak ini diduga mengindikasikan adanya rekahan karena zona batuan yg telah mengalami patahan dan bertindak sebagai jalur untuk fluida panas bergerak menuju permukaan. Kenaikan yang cepat dan diikuti penurunan beda tegangan, ini dapat menunjukkan adanya perubahan dalam geologi bawah permukaan [12].

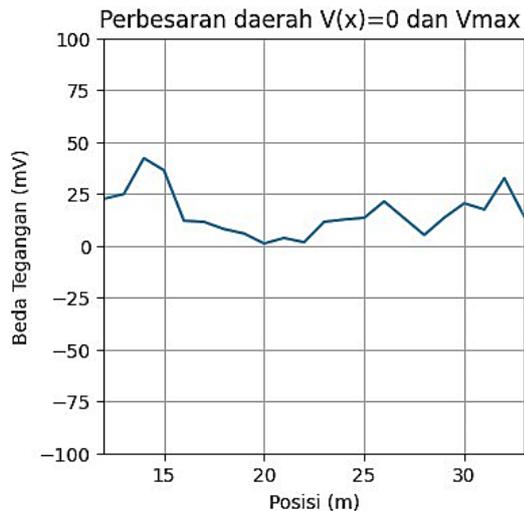
Kemudian pada rentang posisi 20 - 40 meter, beda tegangan pada rentang ini menunjukkan fluktuasi sedang, dengan beberapa puncak yang bervariasi antara 10 hingga 20 mV. Beda tegangan

cenderung beresilasi tetapi tetap berada di wilayah positif, yang menandakan adanya aktivitas fluida yang berkelanjutan, meskipun tidak sekuat puncak sebelumnya.

Selanjutnya, pada rentang posisi 40 - 48 meter, beda tegangan mulai menurun secara bertahap, bahkan memasuki zona negatif mendekati -20 mV pada akhir grafik. Penurunan beda tegangan ini mengindikasikan adanya anomali negatif, yang sering dikaitkan dengan zona resapan, dengan fluida dingin turun ke dalam sistem. Ini juga bisa menunjukkan bahwa aktivitas fluida panas mulai melemah di wilayah ini [13].

Pada Gambar 6 ini menampilkan model anomali data SP menggunakan *google collab* yang menunjukkan hubungan antara beda tegangan (mV) dengan posisi (meter). Pada awal grafik, pada rentang 1 – 5 meter beda tegangan antara -3,72 mV hingga -6,17 mV, menunjukkan adanya aliran daerah dingin. Pada rentang posisi 6 -10 meter, tegangan menunjukkan sedikit fluktuasi antara 5 mV hingga 20 mV, dengan kenaikan bertahap hingga mencapai puncak kecil sekitar 20 mV. Ini menunjukkan zona dengan aktivitas fluida yang stabil. Beda tegangan yang tetap di zona positif ini diduga menandakan adanya permeabilitas batuan yang mendukung perpindahan fluida [11].

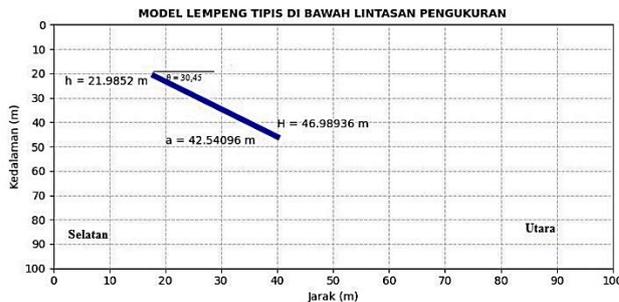
Sebelum dilakukan pemodelan lebih lanjut, terlebih dahulu dari Gambar 6 dipilih posisi data yang dianggap prospek menggambarkan kemungkinan adanya rekahan di bawah permukaan. Rentang posisi data yang dianggap prospek dapat dilihat pada Gambar 7. Dari Gambar ini dapat dilihat bahwa pada rentang 12 – 14 meter, beda tegangan dimulai dari sekitar 22,58 mV dan naik ke nilai puncak sekitar 42,16 mV pada posisi 14 meter [14]. pada beda tegangan ini diduga mengindikasikan anomali positif yang berhubungan dengan zona rekahan fluida panas yaitu zona fluida panas dari dalam bumi bergerak naik melalui rekahan[15]. Setelah puncak di sekitar posisi 14 meter, pada rentang 15 – 25 meter beda tegangan menurun secara bertahap sebesar 1,04 mV di sekitar posisi 20 meter. Penurunan ini menunjukkan bahwa intensitas aktivitas fluida diduga menurun di wilayah ini, dengan adanya perubahan geologi atau kondisi hidrogeologi yang menyebabkan aliran fluida panas melemah. Penurunan beda tegangan menuju nol atau negatif bisa menunjukkan transisi menuju area resapan fluida dingin dengan aliran fluida bergerak turun kembali ke dalam tanah [16].



Gambar 7. Kurva data SP sebagai target yang akan dimodelkan

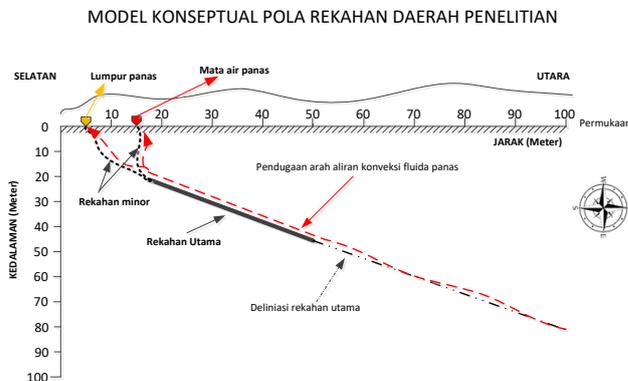
Sedangkan pada rentang posisi 26 – 34 meter, beda tegangan mengalami fluktuasi kecil, bergerak dari nilai positif rendah (sekitar 10 mV) hingga mendekati nol di beberapa titik, dengan puncak kecil terjadi di sekitar 30 meter, dengan tegangan 20,42 mV. Beda tegangan positif yang relatif rendah ini mengindikasikan aktivitas fluida yang lemah, yang bisa berarti aliran fluida panas di wilayah ini tidak terlalu intens atau telah menyebar secara lebih merata. Meskipun tidak ada puncak signifikan seperti sebelumnya, tegangan yang masih positif menunjukkan adanya aktivitas fluida yang berkelanjutan, meski dengan intensitas yang lebih rendah. Ini bisa menandakan adanya aliran fluida yang lebih stabil, tetapi intensitasnya lebih rendah dibandingkan dengan intensitas fluida pada zona yang ada rekahan. Hasil pemodelan lempeng tipis dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada Gambar 8 terlihat bahwa kemiringan lempeng tipis sebagai analogi dari rekahan adalah sebesar $30,45^\circ$. Seperti yang terlihat pada Gambar 8 kedalaman awal diindikasikan dengan $h = 21,9852$ meter, $a = 42,54$ meter adalah mengindikasikan panjang dari rekahan yang terbentuk, sedangkan $H = 46,99$ meter adalah nilai yang mengindikasikan kedalaman akhir dari rekahan yg ada. Kedalaman yang dangkal ini mengindikasikan bahwa ini adalah area yang lebih dekat ke permukaan dan diduga membentuk panjang pola rekahan sebesar 42,54 meter. Dengan demikian dapat dilihat bahwa pola rekahan yang terbentuk adalah mulai dari utara menuju ke selatan, dengan fluida panas bumi menyebar secara lateral dan naik melalui rekahan ke permukaan, yang secara visual lapangan dalam bentuk manifestasi mata air panas dan lumpur panas [17].



Gambar 8. Hasil pemodelan lempeng tipis sebagai analogi rekahan dengan menggunakan Persamaan Rao dan Babu (1983).

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan selanjutnya dapat diilustrasikan model konseptual pola rekahan sebagai pengontrol aliran fluida panas naik ke permukaan. Model konseptual tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Model konseptual pola rekahan daerah penelitian

Gambar 9 ini adalah pendugaan gambaran model konseptual pola rekahan yang ada di daerah penelitian yang mengontrol terbentuknya manifestasi mata air panas dan lumpur panas di permukaan. Energi panas bumi berasal dari aktivitas magma di dalam kerak bumi. Energi panas yang berasal dari magma ini akan mentransfer energinya melalui batuan baik secara konduksi, konveksi dan radiasi. Kemudian, jika aliran panas ini bertemu dengan reservoir air tanah, maka air dalam reservoir ini juga akan terpanaskan dan menjadi reservoir air panas. Selanjutnya, jika tidak ada patahan/rekahan yang terhubung ke reservoir air panas ini, maka transfer energi panas yang lebih dominan terjadi secara konduksi dan radiasi melalui material batuan. Kemudian, jika ada patahan atau rekahan yg terhubung dengan reservoir panas, maka transfer energi panas juga dapat terjadi secara konveksi, yaitu perpindahan panas yang diikuti oleh perpindahan bodi panasnya. Gambar 9 memperlihatkan bahwa aliran fluida panas yang berasal dari sumber panas/reservoir panas terjadi

secara konveksi, karena terdapat rekahan yang bertindak sebagai kondukt atau jalur untuk fluida panas naik ke permukaan. Fluida panas ini mengalir dari utara, kemudian naik dan menuju ke permukaan di bagian selatan daerah penelitian, seperti yang ditunjukkan oleh anak panah dg garis putus-putus berwarna merah. Di atas rekahan utama dari hasil pemodelan, diduga terdapat rekahan-rekahan minor/kecil menuju permukaan. Pada saat fluida panas yang melewati rekahan minor ini sampai ke permukaan, maka akan terbentuk sumber mata air panas. Sedangkan fluida panas yang melewati rekahan minor dan berinteraksi dengan mineral batuan sekitar, maka akan terbentuk manifestasi lumpur panas di permukaan. Sementara, rekahan yang terbentuk diduga semakin dalam rekahan tersebut semakin panjang ke arah utara daerah penelitian. Namun tidak dapat diduga sampai pada kedalaman berapa, rekahan ini akan terhubung langsung dengan sumber panas atau reservoir panas, karena secara umum diketahui kedalaman reservoir panas bumi adalah sekitar 2 sampai dengan 5 Km di bawah permukaan [18].

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa yang mengontrol keberadaan manifestasi mata air panas dan lumpur panas yang ada di daerah penelitian adalah adanya rekahan-rekahan kecil yang diduga berasal dari rekahan utama dan bertindak sebagai jalur fluida panas untuk naik ke permukaan. Rekahan utama tersebut diduga berada pada posisi kemiringan 30.45° dari permukaan, dan berada pada posisi kedalaman 21,98 - 46,99 meter, serta memiliki panjang 42,54 m. Dengan pola aliran fluida panas, berasal dari sebelah utara lokasi bergerak lateral dan naik ke arah selatan daerah pengukuran yang menghasilkan sumber air panas dan lumpur air panas.

REFERENSI

- [1] G. S. Bodvarsson and P. A. Witherspoon, *Geothermal reservoir engineering : part 1*. In Geothermal science and technology; v. 2, no. 1. New York: Gordon and Breach, 1989.
- [2] R. Wahyuningsih, "POTENSI DAN WILAYAH KERJA PERTAMBANGAN PANAS BUMI DI INDONESIA".
- [3] D. A. A. Putri and M. Sulhan, "The development of geothermal energy as a renewable power plant," *J. Earth Energy Eng.*, vol. 12, no. 2s, pp. 11–15, Aug. 2023, doi: 10.25299/jeee.2023.13956.
- [4] A. F. Hakim, F. Sholihah, and R. Ismawati, "Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia," 2022.
- [5] S. Darma, "Indonesia," in *Geothermal Power Generation*, Elsevier, 2016, pp. 609–643. doi: 10.1016/B978-0-08-100337-4.00021-8.
- [6] Y. Vichabian and F. D. Morgan, "Self potentials in cave detection".
- [7] H. Ibrahim, "EQUIPMENT TECHNOLOGIES MATERIALS." Zenodo, Dec. 10, 2023. doi: 10.5281/ZENODO.10335315.
- [8] S. Barde-Cabusson, A. Finizola, and N. Grobde, "A practical approach for self-potential data acquisition, processing, and visualization," *Interpretation*, vol. 9, no. 1, pp. T123–T143, Feb. 2021, doi: 10.1190/INT-2020-0012.1.
- [9] M. A. Hafez and A. M. Abbas, "A new approach to interpret self-potential anomaly over a two-dimensional inclined sheet using complex gradient analysis," *Arab. J. Geosci.*, vol. 4, no. 5–6, pp. 837–844, Aug. 2011, doi: 10.1007/s12517-009-0099-0.
- [10] K. Rao, S. Jain, and A. Biswas, "Global Optimization for Delineation of Self-potential Anomaly of a 2D Inclined Plate," *Nat. Resour. Res.*, vol. 30, no. 1, pp. 175–189, Feb. 2021, doi: 10.1007/s11053-020-09713-4.
- [11] Y. Boimau, W. M. Maubana, and K. A. Cintya Adelia, "Pemodelan Anomali Aliran Sungai Bawah Tanah Menggunakan Data Self-Potential," *J. Teori Dan Apl. Fis.*, vol. 11, no. 01, pp. 39–46, Feb. 2023, doi: 10.23960/jtaf.v11i1.3080.
- [12] A. Y. Elake, F. Virgo, and P. Nanlohy, "Self potential (SP) measurement in the geothermal field of Penantian and Airkelinsar Village, Pasemah Airkeruh District, Empat Lawang Regency, South Sumatra Province," presented at the INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT (ICEE 2021), Thrissur, India, 2021, p. 030007. doi: 10.1063/5.0059524.
- [13] J. Ruiz, A. Poveda, and J. Aguilar, "Application of Self-Potential as a Method for the Identification of Geothermal Anomalies. Case Studies: Telica Nicaragua," in *Second EAGE Workshop on Geothermal Energy in Latin America*, Guanacaste, Costa Rica, : European Association of Geoscientists & Engineers, 2023, pp. 1–4. doi: 10.3997/2214-4609.202385011.
- [14] D. B. Negara, F. Fajriani, and R. A. Putra, "Identifikasi Aliran Fluida Panas Menggunakan Metode Self-Potential di Daerah Manifestasi Panas Bumi Paya Meuligoe," *J. Fis. Unand*, vol. 11, no. 4, pp. 421–427, Sep. 2022, doi: 10.25077/jfu.11.4.421-427.2022.
- [15] N. Vaidila, "SURVEI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE SELF POTENTIAL UNTUK MENGETAHUI POTENSI PANAS BUMI (STUDI KASUS OBYEK WISATA GUCI, JAWA TENGAH)".
- [16] A. Revil, A. Finizola, and M. Gresse, "Self-potential as a tool to assess groundwater flow in hydrothermal systems: A review," *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 437, p. 107788, May 2023, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2023.107788.

^[17] D. Y. U. Nuha, S. Maryanto, and D. R. Santoso, "DETERMINATION OF THE DIRECTION OF HOT FLUID FLOW IN CANGAR AREA, ARJUNO-WELIRANG VOLCANO COMPLEX, EAST JAVA USING SELF POTENTIAL METHOD," *J. Penelit. Fis. Dan Apl. JPFA*, vol.

7, no. 2, p. 123, Dec. 2017, doi: 10.26740/jpfa.v7n2.p123-132.

^[18] S. Mahmoodpour *et al.*, "Hydrothermal Numerical Simulation of Injection Operations at United Downs, Cornwall, UK," *Geosciences*, vol. 12, no. 8, p. 296, Jul. 2022, doi: 10.3390/geosciences12080296. _____