

PEMODELAN DISTRIBUSI AIR PANAS MENGGUNAKAN PROGRAM INVERSI *DAMPED LEAST SQUARE* PADA DATA *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* DI DESA WAY MULI DAN KUNJIR

Petrus Waruwu^{1*}, Rizka¹, Warsa²

¹Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sumatera

²Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
e-mail : petruswar@gmail.com

Abstrak. Daerah Gunung Rajabasa memiliki beberapa manifestasi air panas yang berkembang salah satunya di Desa Way Muli dan Kunjir. Lapisan yang terdistribusi air panas di daerah tersebut dapat diketahui menggunakan metode geolistrik resistivitas *vertical electrical sounding*. Terdapat 3 titik *sounding* hasil pengukuran yang dimodelkan secara inversi menggunakan *damped least square*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui hasil pemodelan inversi *damped least square*, menentukan litologi bawah permukaan dan memodelkan distribusi air panas dengan mengkorelasikan 3 titik *sounding* menjadi pemodelan melintang 2-D. Hasil pengolahan data dan pemodelan, terdapat 3 litologi batuan yaitu *top soil* (14-466 Ω m), batu pasir (5-50 Ω m) dan lempung (<5 Ω m). Lapisan yang terdistribusi oleh air panas adalah lapisan batu pasir. Hasil analisis data sampel sumur air panas menunjukkan bahwa air panas pada daerah penelitian memiliki pH yang netral, bersifat payau dan merupakan *thermal spring*.

Kata Kunci: *damped least square*; mata air panas; resistivitas

Abstract. The Mount Rajabasa area has several manifestations of hot springs that developed, one of which was in Way Muli and Kunjir Villages. The hot springs distributed layer in the area can be identified using the geoelectric resistivity *vertical electrical sounding* method. There were 3 sounding points of measurement results which were modelled in inversion using *damped least squares*. The purpose of this study was to determine the results of *damped least square* inversion modeling, determine subsurface lithology and model hot springs distribution by correlating 3 sounding points into 2-D transverse modelling. The results of data processing and modelling, there were 3 lithologies, namely *top soil* (14-466 m), sandstone (5-50 m) and clay (<5 m). The layer distributed by the hot springs was the sandstone layer. The results of the analysis of the hot springs well sample data show that the hot spring in the study area had a neutral pH, was brackish water and was a *thermal spring*.

Keywords: *damped least square*; hot springs; resistivity

PENDAHULUAN

Lokasi penelitian terletak di Desa Way Muli dan Kunjir, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan. Lokasi ini berada dalam peta Geologi Lembar Tanjungkarang yang masuk dalam Endapan Gunung Api Muda berumur Kuartar dengan litologi yaitu Lava (andesit-basalt), breksi dan tuf (Mangga dkk., 1993). Peta geologi regional khususnya daerah Gunung Rajabasa ditampilkan seperti pada Gambar 1.

Penelitian Rizka (2021)² menemukan tiga singkapan yang ditemukan di Desa Way Muli dan Kunjir. Ketiga singkapan tersebut dilakukan analisis petrografi untuk mengamati sayatan tipis (Gambar 2-4). Gambar 2 merupakan batu pasir (*feldspathic wacke*) terdiri dari mineral hornblende, feldspar,

opak, piroksen, mineral lempung dan mineral kuarsa. Gambar 3 merupakan batuan *mudrock* terdiri dari mineral kuarsa, opak, feldspar dan didominasi oleh mineral lempung silika. Gambar 4 merupakan batuan basalt terdiri dari sanidin, plagioklas, glass, olivin, hornblende dan kuarsa.

Penelitian yang dilakukan oleh Sarkowi dan Wibowo (2021) pada daerah Gunung Rajabasa menggunakan metode geomagnetik, menemukan struktur sesar yang menjadi jalur keluarnya air panas dari dalam bumi dimana *heat source* dari sistem geothermal berada di bawah Gunung Rajabasa.

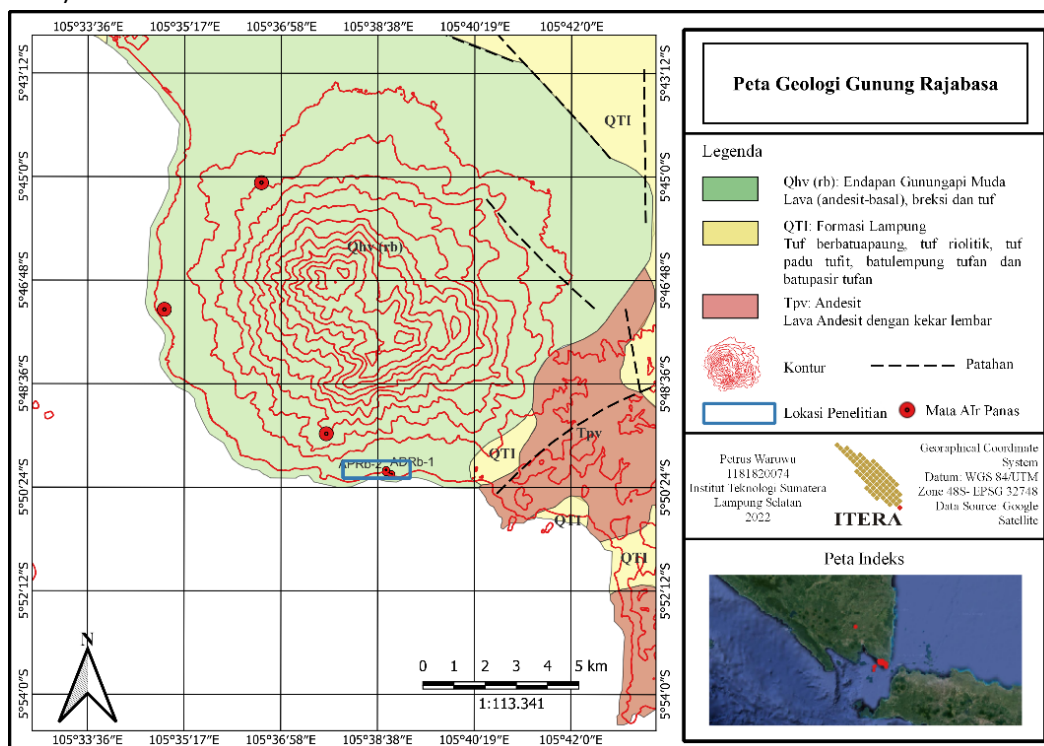
Di Desa Way Muli dan Kunjir terdapat 2 sumur mata air panas yang memungkinkan terdapat sumber mata air panas lainnya di daerah ini. Untuk

melihat distribusi air panas di Desa Way Muli dan Kunjir maka perlu dilakukan survei geofisika pada kedalaman yang dangkal yaitu metode Geolistrik resistivitas (Reynolds, 1997). Metode Geolistrik resistivitas mampu mendapatkan informasi resolusi vertikal dengan baik menggunakan metode *vertical electrical sounding* (VES) (Chabaane dkk., 2017).

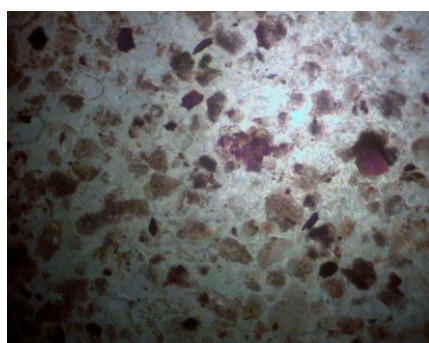
Kondisi bawah permukaan dapat dimodelkan secara *forward modelling* dan pemodelan inversi. Pada penelitian ini menggunakan pemodelan inversi *damped least square*. Program ini menggunakan faktor redaman dan *singular value decomposition* (SVD) pada matriks *Jacobi* untuk menstabilkan proses inversi dan memperoleh nilai *error* minimum (Grandis, 2009).

Penelitian pemodelan inversi *damped least square* menggunakan data VES pernah dilakukan oleh Pinehas dan Warsa (2019) untuk penentuan muka air tanah dengan pemodelan inversi *damped least squares* pada lapangan bekasap Riau. Penelitian tersebut menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini dengan studi kasus yang berbeda yaitu di daerah mata air panas Desa Way Muli dan Kunjir.

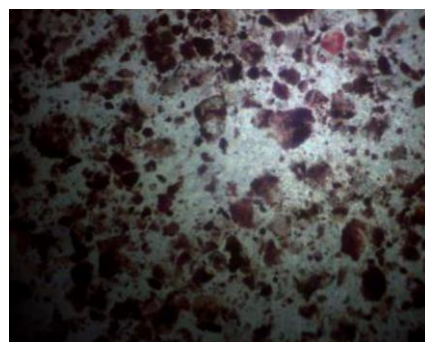
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil pemodelan inversi *damped least square*, menentukan litologi bawah permukaan, pemodelan 2-D lapisan terdistribusi air panas, dan menganalisis distribusi mata air panas.



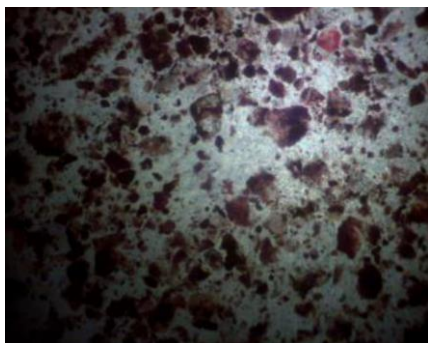
Gambar 1. Peta geologi regional Gunung Rajabasa (modifikasi (Mangga dkk., 1993))



Gambar 2. Sayatan tipis batu pasir (Rizka dkk., 2021)²



Gambar 3. Sayatan tipis batuan *mudrock* (Rizka dkk., 2021)²



Gambar 4. Sayatan tipis batuan basalt (Rizka dkk., 2021)²

METODOLOGI

Metode pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan metode geolistrik VES konfigurasi Schlumberger dengan 3 titik *sounding* yaitu TSD-03, TSD-06, dan TSD-09.

Dalam penelitian ini, dilakukan *forward modelling* dan *inverse modelling* secara komputasi menggunakan Matlab R2020a. *Forward modelling* sebagai program *output* berupa data sintetik sedangkan *inverse modelling* menggunakan program inversi *damped least square* untuk memodelkan kondisi bawah permukaan.

Forward Modelling

Memodelkan bawah permukaan data VES dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan integral Hankel yang menyatakan resistivitas semu (ρ_a) sebagai fungsi dari resistivitas (ρ_k) dan ketebalan (h_k) setiap lapisan, $k = 1, \dots, n$ dan n adalah jumlah lapisan (Koefoed, 1979):

$$\rho_a = s^2 \int_0^\infty T(\lambda) J_1(\lambda s) \lambda d\lambda \quad (1)$$

dengan:

s : setengah jarak elektroda arus ($AB/2$)

J_1 : fungsi Bessel orde satu

$T(\lambda)$: fungsi transformasi resistivitas

$T(\lambda)$ dapat dinyatakan oleh formulasi rekursif Pekeris (Koefoed, 1979):

$$T_k(\lambda) = \frac{(T_{k+1}(\lambda) + \rho_k \tanh(\lambda h_k))}{[1 + T_{k+1}(\lambda) \tanh(\lambda h_k) / \rho_k]} \quad (2)$$

dengan:

n : jumlah lapisan

ρ_k : resistivitas lapisan ke- k

h_k : ketebalan lapisan ke- k

k : $n-1, \dots, 1$.

Pemodelan Inversi *Damped Least Square*

Proses pemodelan inversi menggunakan program inversi *damped least square* seperti pada Gambar 5. Program ini mencari model kalkulasi yang paling *fit* dengan data observasi dengan melakukan perubahan atau perturbasi model secara iteratif. Supaya proses inversi tetap stabil, faktor redaman dan SVD digunakan dalam program ini (Grandis, 2009). Untuk menyelesaikan pemodelan inversi menggunakan persamaan sebagai berikut (Levenberg, 1994; Marquardt, 1963):

$$\Delta\rho = (A^T A + \varepsilon^2 I)^{-1} A^T \Delta d \quad (3)$$

dengan:

$\Delta\rho$: parameter vektor koreksi

Δd : vektor selisih data

A : matriks *Jacobi*

I : matriks identitas

ε : faktor redaman

SVD dapat dimuat dalam matriks *Jacobi* dengan persamaan:

$$A = USV^T \quad (4)$$

Jika n adalah data dan p adalah parameter, U ($n \times p$) dan V ($p \times p$) masing-masing merupakan ruang data dan ruang parameter vektor eigen dan S adalah diagonal matriks ($p \times p$). Maka persamaan solusi inversi *damped least square* adalah:

$$\Delta\rho = V \text{diag} \left\{ \frac{1}{\lambda_j^2 + \varepsilon^2} \right\} U^T \Delta d \quad (5)$$

Untuk mendapatkan solusi yang optimal maka perlu menentukan faktor redaman yang tepat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \lambda_L \Delta X_L^{\frac{1}{L}} \quad (6)$$

dengan:

L : nomor uji

λ : nilai eigen parameter; dan ΔX dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\Delta X_r = \frac{(X_{r-1} - X_r)}{X_{r-1}} \quad (7)$$

dengan:

$X_{(r-1)}$: nilai *misfit* pada iterasi sebelumnya

X_r : nilai *misfit* dari iterasi yang sedang berlangsung.

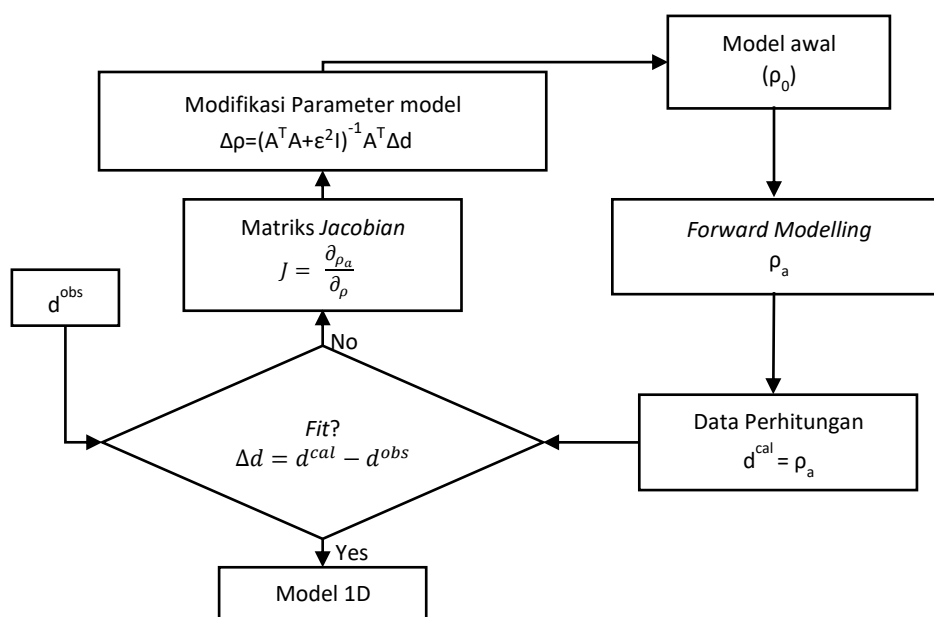
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Inversi Pada Data Sintetik

Program inversi *damped least square* yang digunakan dalam penelitian ini perlu diuji sebelumnya untuk melihat respon model inversi terhadap model sintetik hasil *forward modelling*. Ekinci dan Demirci (2008) melakukan inversi pada model sintetik sebagai contoh untuk melihat respon dari inversi *damped least square* dalam menyelesaikan model yang ada. Model uji sebanyak 4 jenis, yaitu tipe A, Q, H dan K yang terdiri dari 3 lapisan. Tipe A, Q, dan H dimodelkan bebas dari *noise* sedangkan tipe K dibuat *noise*. Respon program

inversi *damped least square* diperlihatkan pada Tabel 2.

Hasil model inversi *damped least square* terhadap data sintetik menghasilkan model yang *fit* pada iterasi ke-50 pada tipe H dan K dan iterasi ke-100 pada tipe A dan Q dengan nilai *RMS error* yang cukup kecil yaitu 0,084%, 0,13%, 0,22%, dan 0,78%. Data dan parameter model hasil inversi *damped least square* menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan data sintetik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa program inversi yang digunakan mampu memberikan solusi atau model yang sesuai dengan *forward modelling*.



Gambar 5. Diagram alir inversi *damped least square*

Implementasi Program Inversi Pada Data Lapangan

Implementasi program inversi pada data lapangan dilakukan dengan model bumi 4 dan 5 lapisan sebagai model inisial yang ditentukan secara "apriori". Jumlah dan pola lapisan model awal diperkirakan berdasarkan pola kurva *sounding*. Pola yang dibuat yaitu lapisan resistif berada di antara lapisan konduktif, lapisan konduktif berada di antara lapisan resistif atau nilai resistivitas semakin menurun (Ekinci dan Demirci, 2008). Hasil inversi menyederhanakan solusi dengan menyesuaikan jumlah lapisan model awal (Grandis, 2009). Tabel 3 merupakan perbandingan model inisial dengan model hasil inversi titik *sounding* TSD-03, TSD-06 dan TSD-09.

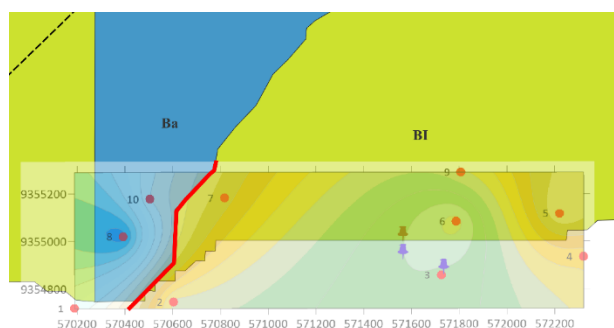
Standar deviasi yang diperoleh dari hasil inversi sebesar 2% dari data lapangan. Biasanya standar deviasi berada di antara 3%-5% (Ekinci dan Demirci, 2008; Grandis, 2009). Berdasarkan Tabel 2, hasil yang didapatkan dari pemodelan inversi cukup *fit* antara kurva data kalkulasi dengan data observasi. Nilai *error* yang diperoleh sebesar 0,48%, 0,54%, dan 1,81% yang menghasilkan model konvergen pada iterasi ke-20.

Peta Iso Apparent Resistivity dan True Resistivity

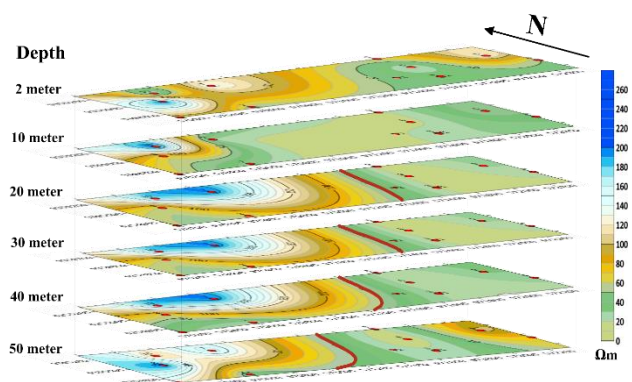
Data lapangan atau *apparent resistivity* dapat membentuk peta kontur menggunakan *Surfer 11* seperti pada Gambar 8. Berdasarkan Peta iso *apparent resistivity* terlihat persebaran nilai

resistivitas berdasarkan perbedaan warna. Resistivitas tinggi berwarna biru muda hingga biru tua, resistivitas sedang berwarna kuning hingga coklat muda sedangkan resistivitas rendah berwarna hijau muda hingga hijau tua yang merupakan daerah titik *sounding* TSD-03, TSD-06, dan TSD-09.

Pada resistivitas sedang adanya perbedaan kerapatan kontur dan menjadi pemisah antara resistivitas rendah dan resistivitas tinggi. Dari hasil *overlay* antara peta geologi kompleks dan peta iso *apparent resistivity*, diduga resistivitas sedang menjadi batas litologi seperti pada Gambar 6 sedangkan kerapatan kontur menjadi batas reservoir air panas seperti pada Gambar 7 (Haerudin dkk., 2009). Batas reservoir seperti pada Gambar 7 yaitu peta iso *true resistivity* yang berada pada kedalaman 20 meter hingga 50 meter.



Gambar 6. Hasil *overlay* peta iso *apparent resistivity* terhadap peta geologi kompleks Gunung Rajabasa



Gambar 7. Batas reservoir pada peta iso *true resistivity*

Penentuan Litologi dan Pemodelan 2-D

Hasil implementasi program inversi pada data lapangan menunjukkan bahwa terdapat lapisan di bawah permukaan yang memiliki jenis lapisan

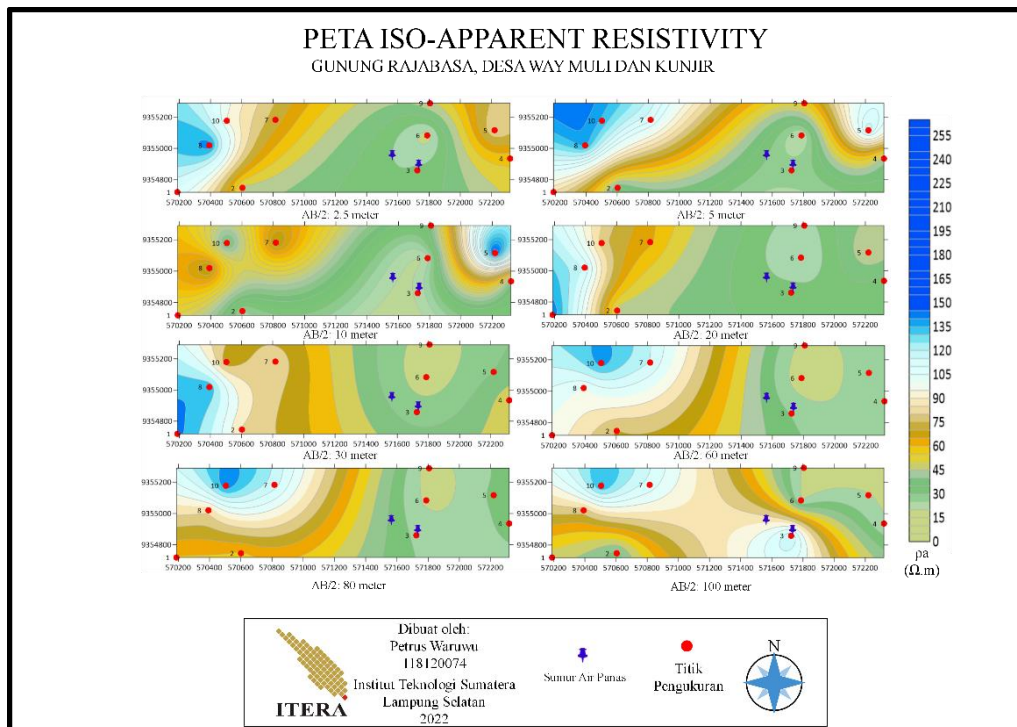
batuan yang bervariasi. Penentuan litologi menyesuaikan dengan litologi pada Peta Geologi Regional (Gambar 1) dan hasil dari penelitian sebelumnya oleh Rizka dkk. (2021)¹ dan Rizka dkk. (2021)² yang dilakukan di dekat daerah penelitian. Hasil korelasi tersebut menunjukkan terdapat 3 litologi batuan yang diklasifikasikan berdasarkan rentang nilai resistivitas yaitu *top soil* (14-466 Ωm), batu pasir (5-50 Ωm) dan lempung (<5 Ωm) seperti pada Tabel 1.

Table 1. Klasifikasi litologi batuan daerah penelitian

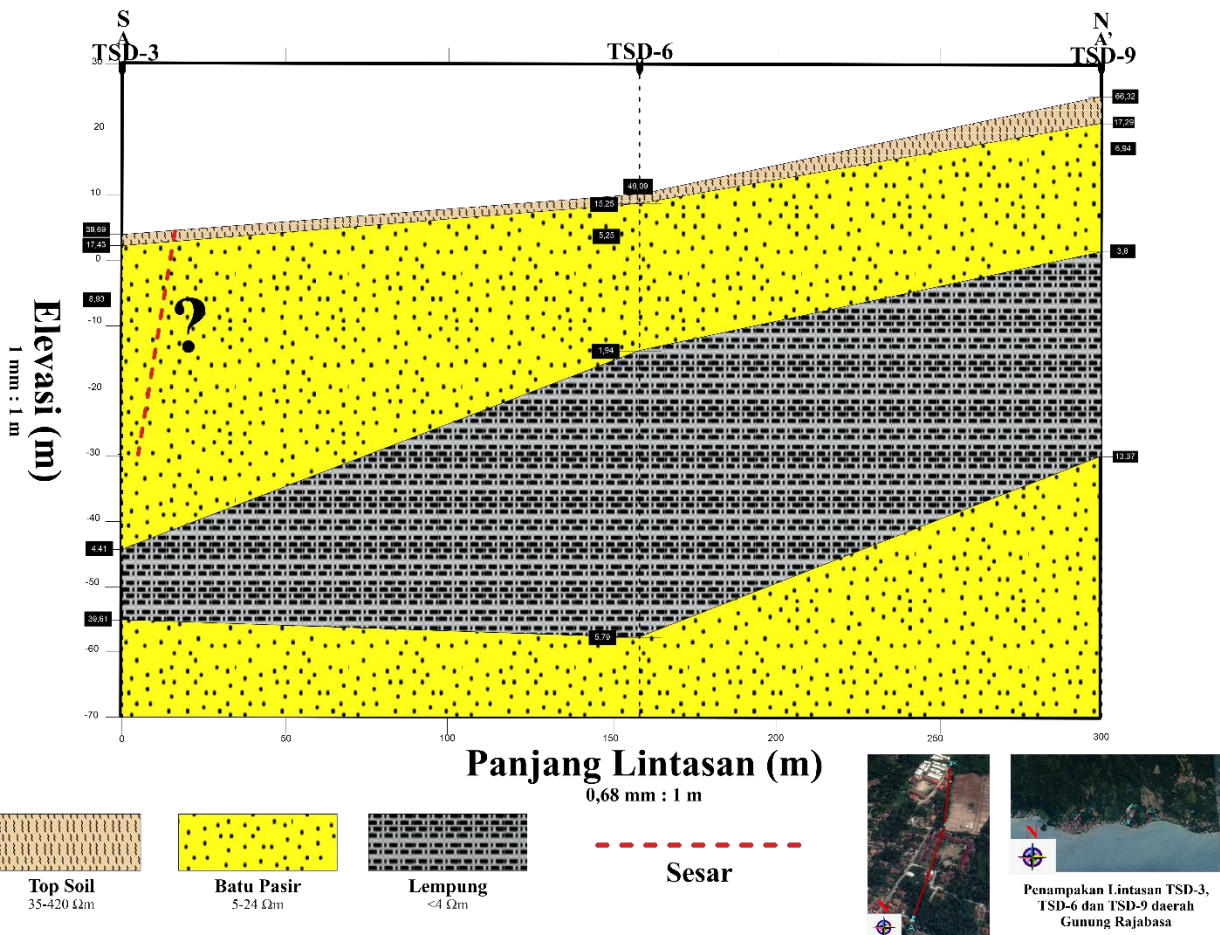
No.	Litologi Batuan	Rentang Nilai Resistivitas (Ωm)
1.	<i>Top Soil</i>	14- 466
2.	Batu Pasir	5-50
3.	Lempung	<5

Lapisan yang berhubungan dengan manifestasi panas bumi memiliki nilai resistivitas yang rendah (Mnzava dkk., 2005). Terdapat dua lapisan dengan nilai resistivitas yang rendah, yaitu batu pasir dan lempung. Batu pasir biasanya bersifat permeabel dan mampu menjadi reservoir yang baik sedangkan lapisan lempung akan bersifat impermeabel namun memiliki sifat untuk menyimpan air (Fauziah dkk., 2015). Sehingga batu pasir dianggap sebagai lapisan yang terdistribusi oleh air panas dan lapisan lempung sebagai lapisan penudung.

Berdasarkan litologi batuan, 3 titik *sounding* dapat dikorelasikan sehingga menghasilkan model melintang 2-D seperti pada Gambar 9. Dari gambar tersebut terlihat bahwa adanya perbedaan topografi dari ketiga titik *sounding* yang membentuk sistem panas bumi *high terrain* (Umam dkk., 2018). Sistem panas bumi *high terrain* biasanya berasosiasi dengan pola aliran lateral *outflow* seperti yang terjadi di Desa Way Muli dan Kunjir (Sarkowi dan Wibowo, 2021). Pola aliran lateral *outflow* muncul menjauhi daerah pegunungan menuju dataran rendah hingga pinggir pantai. Umumnya pada daerah *outflow* ditemukan manifestasi berupa mata air panas atau *hot spring* (Goff dan Janik, 2000). Hal tersebut terbukti dengan adanya sampel sumur air panas dekat TSD-03 yang berada di pinggir pantai.



Gambar 8. Peta iso apparent resistivity



Gambar 9. Penampang 2-D korelasi TSD-03, TSD-06 dan TSD-09

Table 2. Respon program inversi *damped least square* terhadap *forward modelling*

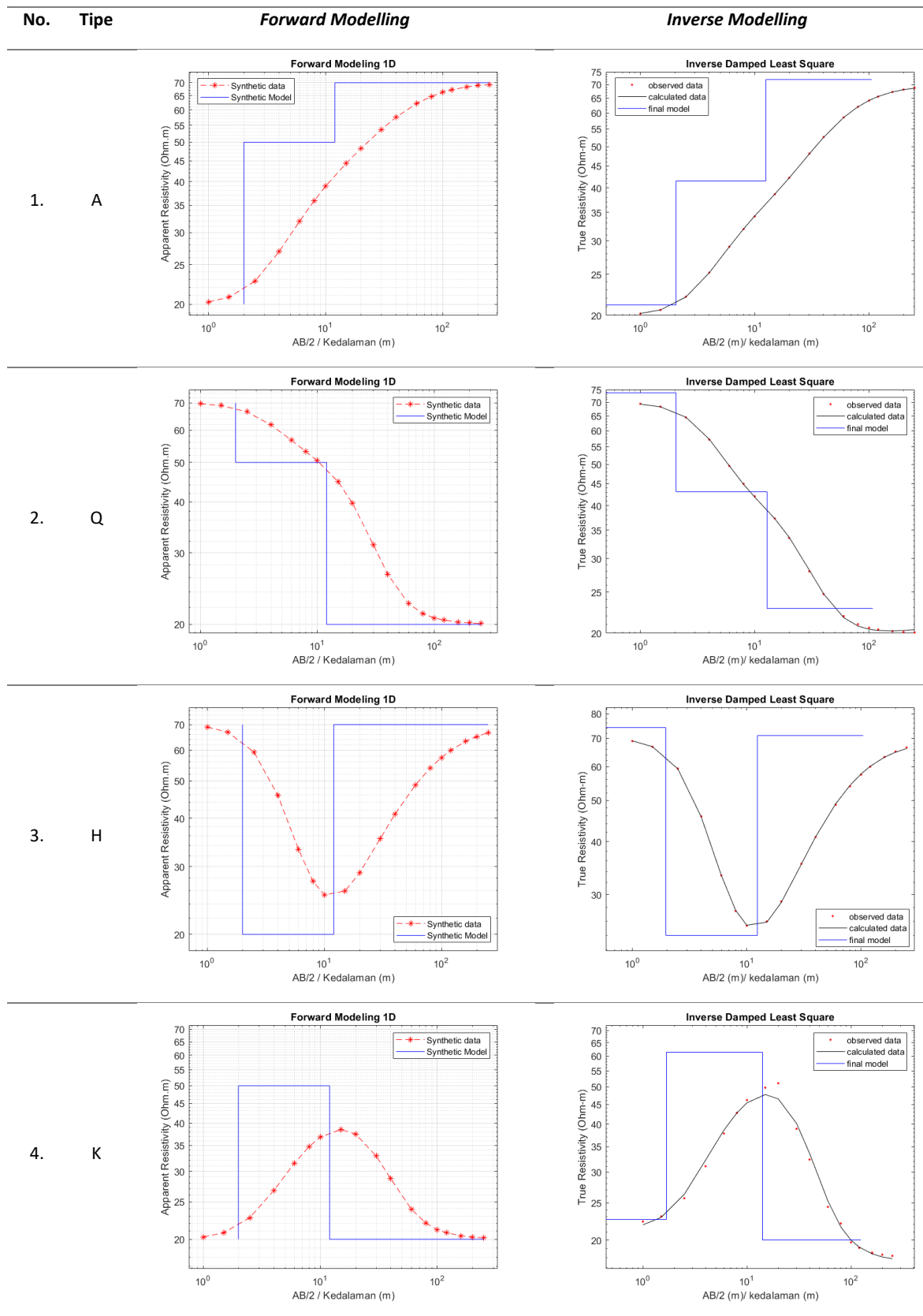
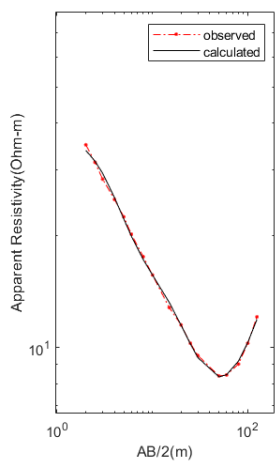
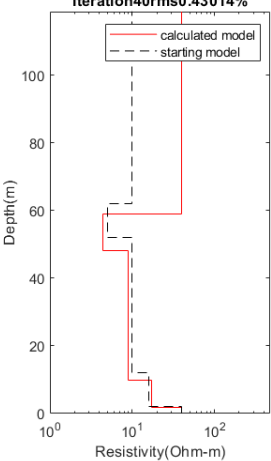
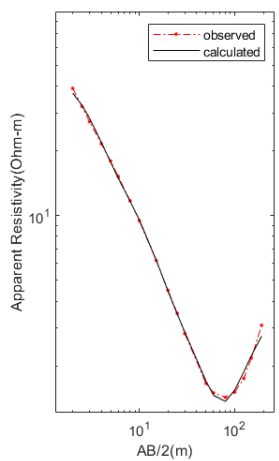
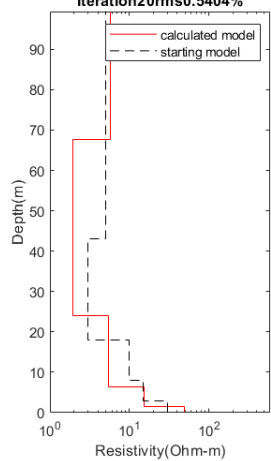
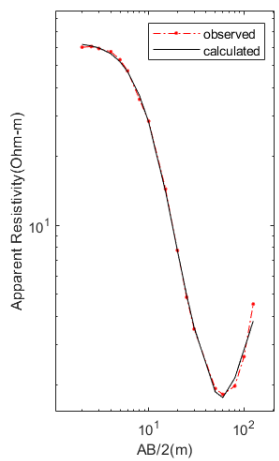
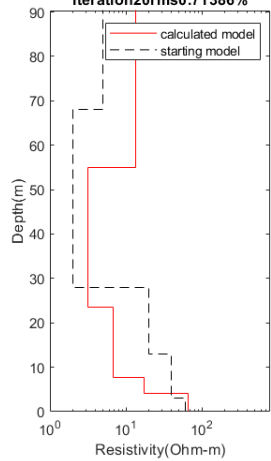


Table 3. Hasil implementasi program inversi *damped least square* pada data lapangan

Nama	Model Inisial		Model Inversi		RMS Error	Iterasi	Model	
	ρ ($\Omega.m$)	tebal (m)	ρ ($\Omega.m$)	tebal (m)			AB/2(m)	Depth(m)
TSD-03	40	2	39,69	1,71	0,48%	20		
	16	10	17,43	8,22				
	10	40	8,93	38,2				
	5	10	4,41	10,89				
	10	-	39,61	-				
TSD-06	30	3	49,09	1,39	0,54%	20		
	15	5	15,25	4,88				
	10	10	5,52	17,67				
	1	25	1,94	43,77				
	5	-	5,79	-				
TSD-09	60	3	66,32	4,08	1,81%	20		
	40	10	17,29	3,7				
	20	15	6,74	15,81				
	2	40	3,18	31,28				
	5	-	13,37	-				

Analisis Sumur Air Panas

Sebanyak 2 sampel sumur air panas yang terdapat di daerah penelitian. Sampel data yang diperoleh adalah konduktivitas (*electrical conductivity* atau EC), *total dissolved solids* (TDS), salinitas, temperature, dan pH seperti pada Tabel 4.

Nilai EC, TDS, berdasarkan klasifikasi PAHIAA (1986) dan tingkat salinitas menunjukkan bahwa sampel sumur air panas bersifat payau (Goetz, 1986; Edwin dkk., 2016). Tingkat salinitas sampel sumur air panas jika dibandingkan dengan standar WHO sangat jauh dari rentangnya, hal ini dipengaruhi oleh sampel sumur air panas yang bersifat payau.

Tingkat temperatur dari kedua sampel sumur air panas menunjukkan bahwa nilai temperatur dari data sampel termasuk dalam tipe *thermal spring* (Subtavewung dkk., 2005). Sehingga dapat disimpulkan bahwa air panas di daerah ini merupakan air tanah yang berasosiasi dengan aliran lateral *outflow* (Sarkowi dan Wibowo, 2021).

Sampel sumur air panas memiliki sifat yang netral berdasarkan pH data sampel (Subtavewung dkk., 2005). Kondisi ini menunjukkan bahwa adanya kontak antara fluida asam yang berasosiasi dengan sistem panas bumi dengan batuan sedimen yang mengakibatkan penetralan yang membentuk air panas netral pada batu pasir (Kusnadi dkk., 2006).

Table 4. Analisis sampel data sumur

No.	Sampel	Lokasi	Parameter Fisika Kimia		Standar WHO
1.	MAP1	Latitude: 5°50'08,2" Longitude: 105°38'47,2"	pH	7,54	6,5-8,5
			Temperatur	36,4 °C	25 °C
			Salinitas	0,06 %	2-4,2 %
			EC	1199 µS/cm	50-5000 µS/cm
			TDS	600 ppm	500 mg/L
2.	MAP2	Latitude: 5°50'05,8" Longitude: 105°38'47,2"	pH	7,88	6,5-8,5
			Temperatur	42,2 °C	25 °C
			Salinitas	0,05 %	2-4,2 %
			EC	1063 µS/cm	50-5000 µS/cm
			TDS	539 ppm	500 mg/L

PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa implementasi program inversi *damped least square* pada data lapangan mampu memberikan solusi yang baik yaitu kurva kalkulasi yang cukup *fit* dengan data lapangan dengan nilai *error* sebesar 0,26% sampai 3,35%.

Terdapat 4 litologi batuan pada daerah penelitian yaitu *top soil* (14-466 Ωm), batu pasir (5-50 Ωm) dan lempung (<5 Ωm). Lapisan yang terdistribusi air panas adalah batu pasir yang memiliki nilai

resistivitas rendah dan dipengaruhi oleh aliran *outflow*.

Berdasarkan analisis sampel data sumur air panas, diidentifikasi bawah sumur air panas bersifat payau dengan pH netral serta merupakan *thermal spring*.

Saran penulis, untuk memperkirakan tipe air panas di daerah penelitian secara keseluruhan dapat melakukan penelitian lebih lanjut menggunakan metode hidrogeokimia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Warsa, S.Si., M.T. dan Ibu Rizka, S.T., M.T., yang telah mendukung dan mengarahkan saya sehingga penelitian ini dapat selesai dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Chabaane, A., Redhaounia, B., Gabtni, H. (2017), "Combined Application of Vertical Electrical Sounding and 2D Electrical Resistivity Imaging for Geothermal Groundwater Characterization: Hammam Sayala Hot Spring Case Study (NW Tunisia)", *Journal of African Earth Sciences*, Vol.134, hal. 292-298.
- Edwin, T., Regia, R. A., dan Dibba, F. (2016), "Indikasi Intrusi Air Laut Dari Konduktivitas Air Tanah Dangkal Di Kecamatan Padang Utara", *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Lingkungan II*.
- Ekinci, Y. L., dan Demirci, A. (2008), "A Damped Least-Square Inversion Program for the Interpretation of Schlumberger Sounding Curves", *Journal of Applied Sciences* 8 (22), 4070-4078.
- Fauziah, S., Khumaedi, dan Linuwih, S. (2015), "Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Mata Air Panas Krakal Kebumen Dengan Metode Geolistrik", *Unnes Physics Journal*, 4(2).
- Goff, F., dan Janik, C. J. (2000), *Geothermal Systems dalam Encyclopedia of Volcanoes*, San Diego: Academic Press.
- Grandis, H. (2009), *Pemodelan Inversi Geofisika*, Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Haerudin, N., Pardede, V. J., dan Rasimeng, S. (2009), "Analisis Reservoir Daerah Potensi Panas bumi Gunung Rajabasa Kalianda dengan Metode Tahanan Jenis dan Geotermometer Geothermal Reservoir Analysis of Mount Rajabasa Kalianda Potency Area using Resistivity Method and Geotermometer", *In Jurnal Ilmu Dasar*, 10(2).
- Koefoed, O. (1979), *Geophysical Principal*, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Kusnadi, D., Rezky, Y., Supeno, Raharja, B., (2006), "Penyelidikan Geologi dan Geokimia Panas Bumi Daerah Gunung Endut Kabupaten Lebak, Banten", *Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan Dan Non Lapangan Tahun 2006, Pusat Sumber Daya Geologi*, pp. 1-14.
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwarti, T., Gafoer, S., Sidarto, (1993), *Geologi Lembar Tanjung Karang, Sumatera*.
- Minzava, L. J., Mayo, A. W., dan Katima, J. H. Y. (2004), "In Search Of Geothermal Energy Power Potential In Tanzania: The Role Of Geophysics", *Geo-Environment*, 358.
- Panitia Ad Hoc Intrusi Air Asin Jakarta (PAHIAA-Jakarta). (1986), *Klasifikasi Keasinan Perairan*, Jakarta.
- Pinehas, D., dan Warsa. (2019), "Determination of Groundwater Surface using Damped Least-Squares Inversion in the Bekasap Field Riau", *Jurnal Geofisika*, No.2, pp. 5-8.
- Reynolds, J. M. (1997), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Chichester: John Wiley dan Sons Ltd.
- Rizka, Fadhilah, R., Piskora, B. A., Putraloka, A., Alansyah, A., dan David, K. H. P. (2021)¹, "The Identification of Krakatoa Tsunami Deposits Based on Comparison of Geological and Electrical Resistivity Tomography Method, in Kunjir, South Lampung", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 830, 830(1).
- Rizka, Fadhilah, R., Piskora, B. A., Putraloka, A., Alansyah, A., Hamonongan, K., David, P., dan Wulandari, R. (2021)², "Integrasi Metode Geosains Untuk Mengidentifikasi Potensi Geowisata di Pantai Wartawan", *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 19, 187-196.
- Sarkowi, M., dan Wibowo, R. C. (2021). "Geothermal Reservoir Identification based on Gravity Data Analysis in Rajabasa Area- Lampung", *Indonesian Journal of Geology and Mining*, 31(2), 77.
- Subtavewung, P. H., Raksaskulwong, M., dan Tulyatid, J. (2005), "The Characteristic and Classification of Hot Springs in Thailand", *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Umam, M. F., Muhammad, F., Adityatama, D. W., dan Purba, D. P. (2018), "Tantangan Pengembangan Energi Panas Bumi Dalam Perannya Terhadap Ketahanan Energi di Indonesia", *Swara Patra*, Vol.8, No.3.