

Interpretasi Geologi Bawah Permukaan *Hot Spring* Natar–Cisarua, Lampung Menggunakan Metode Geomagnetik dan *Ground Penetrating Radar* (GPR)

Trie Hartini¹, Ira Kusuma Dewi¹, Syamsurijal Rasimeng^{2*}, Alimuddin², Rudy Zefrianto Sinambela², Ridho Destawan²

¹Prodi Teknik Geofisika, Jurusan Teknik Kebumihan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

²Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 Februari 2026

Direvisi: 15 Juli 2026

Diterima: 30 September 2026

Kata kunci:

Alterasi

Ground Penetrating Radar (GPR)

Metode Geomagnetik

Sistem Panas Bumi

ABSTRAK

Manifestasi panasbumi berupa air panas di Natar *hot water resource* dan pemandian air panas Cisarua merupakan bagian dari salah satu sistem panasbumi yang berkembang di Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk menginterpretasikan kondisi geologi bawah permukaan dan identifikasi struktur pengontrol sistem panasbumi di daerah penelitian menggunakan metode geomagnetik dan *ground penetrating radar* (GPR). Pengolahan data geomagnetik meliputi koreksi harian dan koreksi IGRF pada data anomali medan magnet sehingga diperoleh peta kontur anomali medan magnet total (AMT) dan *reduce to the magnetic pole* (RTP). Sedangkan pengolahan data GPR dilakukan untuk mendapatkan citra resolusi tinggi pada kedalaman dangkal. Berdasarkan hasil pengolahan data, manifestasi air panas berada pada zona anomali magnetik rendah yaitu antara -1800 nT sampai -425 nT sebagai indikasi zona demagnetisasi batuan akibat aktivitas hidrotermal. Selain itu, GPR mampu meresolusi bawah permukaan hingga kedalaman sekitar 50 m dan mengidentifikasi lapisan non-alterasi pada kedalaman 0–10 m, zona alterasi yang berperan sebagai lapisan penutup (*clay cap*) pada kedalaman 10–30 m, serta lapisan yang lebih kontinu pada kedalaman lebih dari 30 m yang diinterpretasikan sebagai reservoir dangkal

Keywords:

Alteration

Geomagnetic Method

Geothermal System

Ground Penetrating Radar (GPR)

Penulis Korespondensi:

Syamsurijal Rasimeng

Email: syamsurijal.rasimeng@eng.unila.ac.id

*Geothermal manifestations in the form of hot springs at the Natar Hot Water Resource and Cisarua Hot Spring are part of a geothermal system developed in Natar District, South Lampung Regency. This study aims to interpret subsurface geological conditions and identify the structural controls of the geothermal system using geomagnetic and Ground Penetrating Radar (GPR) methods. Geomagnetic data processing included diurnal and International Geomagnetic Reference Field (IGRF) corrections to obtain Total Magnetic Anomaly (TMA) and Reduction to the Pole (RTP) maps. Meanwhile, GPR data processing was conducted to generate high-resolution images of shallow subsurface features. The results indicate that the hot spring manifestations are associated with low magnetic anomaly zones ranging from -1800 nT to -425 nT, which are interpreted as demagnetized rocks resulting from hydrothermal activity. Furthermore, the GPR survey successfully resolved subsurface conditions down to a depth of approximately 50 m and identified a non-altered layer at depths of 0–10 m, an alteration zone acting as a cap rock (*clay cap*) at depths of 10–30 m, and a more continuous layer below 30 m depth that is interpreted as a shallow geothermal reservoir.*

Copyright © 2026 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sistem panabumi Pulau Sumatera merupakan sistem panas bumi yang didominasi oleh sistem vulkano-tektonik, yaitu sistem yang berasosiasi antara struktur graben dengan kerucut vulkanik, umumnya ditemukan di daerah pada jalur sistem Sesar Sumatera (Bellier et al., 1997). Pulau Sumatera memiliki struktur geologi yang dikontrol oleh struktur besar yaitu Sesar Sumatera dan beberapa aktivitas gunungapi sehingga menimbulkan manifestasi yang muncul ke permukaan berupa mata air panas, fumarol, solfatara dan batuan alterasi. Salah satu provinsi di Sumatera yang memiliki potensi panas bumi cukup besar adalah Provinsi Lampung. Fakta tersebut ditunjukkan dengan tersebarnya beberapa WKP yang ada, mulai WKP Gunung Rajabasa, Sekincau, Way Ratai, Gunung Waypanas, potensi Natar, potensi Fajar Bulan, potensi Suoh Antatai, dan potensi Wai Umpu (Direktorat Panas Bumi, 2017). Saat ini PT Pertamina Geothermal Energy telah mengoperasikan PLTP di WKP Ulubelu, Kecamatan Ulubelu, Tanggamus dengan kapasitas hingga 220 MW. Salah satu yang menarik secara geologi adalah potensi panasbumi Natar di Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan (Gambar 1). Keberadaan potensi ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas yang terletak di Natar *Hot Water Resource* dan Pemandian Air Panas Cisarua. Berdasarkan data geologi, manifestasi mata air panas daerah penelitian berkorelasi dengan Sesar Lampung - Panjang (Rizki et al., 2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem panas bumi yang berkembang pada daerah penelitian merupakan *tectonically controlled or structurally controlled geothermal systems*, yang umumnya memiliki entalpi rendah hingga menengah dan reservoir dangkal (Moeck, 2014). Dalam rangka mendapatkan pemahaman model geologi bawah permukaan sistem panasbumi yang berkembang di daerah penelitian, dilakukan survei geofisika dengan menggunakan metode geomagnetik dan *ground penetrating radar* (GPR).

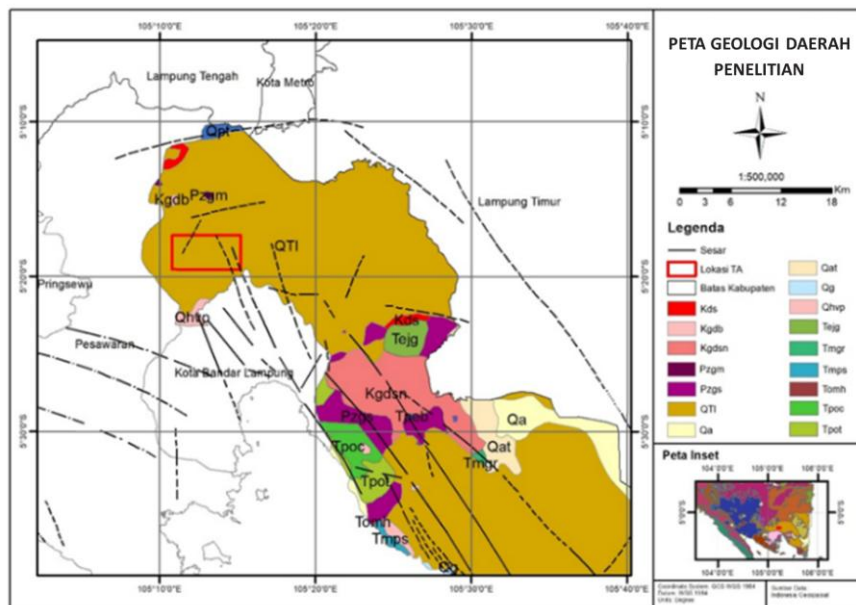
Dengan adanya variasi intensitas medan magnet di permukaan menunjukkan adanya anomali magnetik, dimana anomali magnetik umumnya disebabkan karena adanya perbedaan nilai suseptibilitas pada batuan penyusun daerah tersebut. Nilai suseptibilitas ini merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi. Metode geomagnetik telah banyak diterapkan dalam identifikasi struktur bawah permukaan pada sistem panasbumi yang ada di Indonesia (Hidayati et al., 2022; Furqan et al., 2024). Selain itu banyak diaplikasikan dalam identifikasi reservoir dari suatu sistem panas bumi (Afandi et al., 2016; Juniarti, 2017; Maubana et al., 2019). Metode geomagnetik juga efektif digunakan eksplorasi sistem panas bumi pada lingkungan batuan metamorf (Thilakarathna et al., 2025). Metode tersebut berhasil mengidentifikasi sebaran kelurusan struktur, rekahan, serta intrusi batuan beku serta memberikan pemahaman mengenai genesa pembentukan potensi panas bumi.

Ground penetrating radar (GPR) merupakan metode geofisika yang memanfaatkan penalaran gelombang elektromagnetik khususnya gelombang radio – mikro. Respon penalaran gelombang tersebut sangat bergantung pada parameter permitivitas dan konstanta dielektrik medium yang dilalui. Metode ini merupakan teknik *non-invasif* yang dirancang untuk investigasi bawah permukaan (Comas et al., 2004). Dalam penerapannya, metode GPR berhasil mengidentifikasi rekahan di bawah permukaan Kawah Sikidang (Nurapita et al., 2024). Rekahan ditunjukkan oleh adanya diskontinuitas vertikal memanjang pada radargram.

Daerah penelitian disusun dari Formasi Lampung (QT1), dimana formasi ini tersusun dari tuf, tuf pumisan dan batupasir tufan. Tuf berwarna putih sampai kecoklatan berkomposisi riolit, dan terkekarkan di beberapa tempat. Tuf pumisan berwarna kelabu dengan butir sedang-kasar, terpilah buruk dan tersusun atas pumis dan fragmen batuan. Batupasir tufan berwarna putih kekuningan dengan butir halus-sedang, terpilah buruk, membundar tanggung, terdapat fragmen pumis dan tidak kompak di beberapa tempat memperlihatkan struktur silang siur. Formasi ini memiliki tebal sekitar 200 m, diendapkan pada lingkungan darat-fluvial, air payau (Iqbal et al., 2019). Litologi tersebut berpotensi mengalami alterasi hidrotermal dan perkembangan rekahan yang dapat memengaruhi sifat kemagnetan serta respon elektromagnetik bawah permukaan, sehingga sesuai untuk dikaji menggunakan metode geomagnetik dan GPR.

Pada daerah penelitian terdapat Sesar Lampung - Panjang yang berada di dekat daerah penelitian yang diperkirakan masih dipengaruhi oleh Sesar Besar Sumatera (Juliarka et al., 2020). Serta terdapat juga satu kelurusan yang berarah timur laut-barat daya yang diduga menjadi pengontrol keluarnya mata air panas Natar. Sedangkan pada mata air panas Cisarua berada pada jalur patahan yang memiliki arah

baratlaut – tenggara (Sesar Lampung-Panjang) yang diduga menjadi pengontrol keluarnya mata air panas yang diakibatkan adanya tekanan pada sesar tersebut (Suharno et al., 2012). Berdasarkan kondisi geologi dan keberadaan manifestasi panasbumi yang diduga dikontrol oleh struktur geologi, diperlukan kajian geofisika untuk memahami karakteristik bawah permukaan sistem panasbumi di daerah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menginterpretasikan kondisi bawah permukaan sistem panasbumi Natar–Cisarua menggunakan integrasi metode geomagnetik dan *Ground Penetrating Radar* (GPR). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai model konseptual sistem panasbumi dangkal yang berkembang di daerah penelitian.



Gambar 1 Peta geologi daerah penelitian

II. METODE

2.1 Akuisisi dan Pengolahan Data

Penelitian ini mengintegrasikan metode geomagnetik dan GPR untuk mengidentifikasi kondisi geologi bawah permukaan serta struktur pengontrol sistem panasbumi Natar–Cisarua. Metode geomagnetik digunakan untuk mengidentifikasi distribusi anomali magnetik yang berkaitan dengan alterasi hidrotermal dan struktur geologi, sedangkan GPR digunakan untuk memetakan kondisi bawah permukaan dangkal dengan resolusi tinggi didasarkan pada karakteristik pola refleksi pada radargram..

Akuisisi data geomagnetik dilakukan menggunakan GEM Proton Magnetometer GSM-19T pada 124 titik pengukuran yang tersebar pada area seluas $\pm 21,9$ km² dengan spasi antar titik sekitar ± 500 m. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap titik untuk mengurangi kesalahan pembacaan. Posisi *base station* berada di Gedung Teknik Geofisika FT Universitas Lampung yang berjarak sekitar ± 6 km dari area survei.

Data geomagnetik diolah melalui koreksi harian (*diurnal correction*) dan koreksi *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) untuk memperoleh anomali magnetik lokal. Selanjutnya dilakukan transformasi Reduce to Pole (RTP) guna memusatkan posisi anomali di atas sumber penyebabnya sehingga memudahkan interpretasi zona alterasi dan struktur geologi.

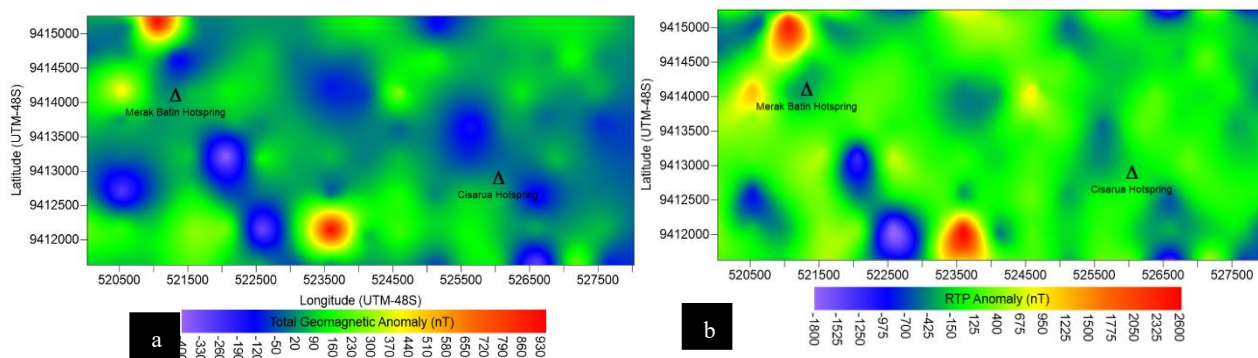
Akuisisi data GPR dilakukan menggunakan instrumen AKULA 9000C dengan antenna frekuensi 100 MHz pada lintasan sepanjang ± 200 m yang melintasi manifestasi air panas. Pengolahan data meliputi *time-zero correction*, *background removal*, penguatan amplitudo (*gain adjustment*), dan konversi waktu tempuh dua arah menjadi kedalaman untuk menghasilkan radargram bawah permukaan.

Interpretasi dilakukan dengan mengintegrasikan distribusi anomali magnetik, pola kelurusan struktur, dan karakter refleksi radargram. Hasil interpretasi kemudian dibandingkan dengan informasi geologi regional dan data geolistrik terdahulu untuk menyusun model konseptual sistem panasbumi yang berkembang di daerah penelitian.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Anomali Magnetik Total dan *Reduce to Pole* (RTP)

Anomali Magnetik Total (Gambar 2.a) merupakan anomali medan magnet yang merepresentasikan variasi sifat kemagnetan batuan bawah permukaan setelah koreksi harian dan medan magnet utama bumi (IGRF). Pada penelitian ini, parameter medan magnet bumi yang digunakan dalam proses koreksi adalah deklinasi sebesar $0,5274^\circ$ dan inklinasi sebesar $-27,3547^\circ$. Pada gambar terlihat bahwa nilai intensitas magnetik total berkisar antara -400 nT sampai 930 nT. Anomali medan magnet total ini diklasifikasikan menjadi anomali rendah, sedang, dan tinggi. Anomali rendah ditunjukkan warna ungu hingga biru tua dengan nilai antara -400 nT sampai 20 nT, anomali sedang memiliki nilai antara 20 nT sampai 370 nT yang ditunjukkan warna hijau dan anomali tinggi ditunjukkan warna kuning hingga merah muda dengan nilai berkisar 370 nT sampai 930 nT.



Gambar 2 Peta anomali magnet total (a) dan peta *reduce to pole* (b)

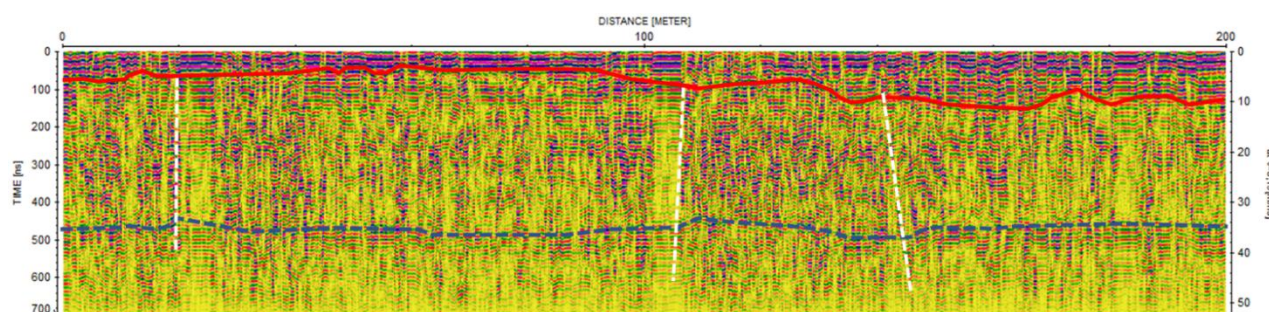
Reduce to Magnetic Pole (RTP) merupakan salah satu *filter* yang mentransformasikan anomali seolah-olah diukur pada inklinasi 90° dan deklinasi 0° sehingga puncak anomali berada tepat di atas sumbernya. Anomali RTP tersebut nilainya berkisar antara -1800 nT sampai 2600 nT (Gambar 2.b). Anomali rendah berkisar antara rentang -1800 nT sampai -425 nT dengan ditunjukkan warna ungu hingga biru tua, anomali sedang memiliki nilai antara -425 nT sampai 675 nT yang ditunjukkan warna hijau dan anomali tinggi berkisar antara rentang 675 nT sampai 2600 nT dengan ditunjukkan warna kuning hingga merah. Peta RTP menunjukkan peningkatan keterpusatan anomali magnetik yang mengindikasikan bahwa posisi anomali telah terkoreksi dan berada relatif tepat di atas sumber magnetiknya. Zona anomali magnetik rendah yang berasosiasi dengan lokasi manifestasi air panas diinterpretasikan sebagai daerah alterasi hidrotermal, proses alterasi tersebut menyebabkan demagnetisasi batuan. Alterasi menyebabkan perubahan komposisi mineral dan sifat fisik batuan akibat reaksi kimia antara fluida panas dengan batuan di sekitarnya, sehingga terjadi perubahan sifat magnetik seperti magnetit menjadi mineral *non*-magnetik.

Distribusi spasial anomali magnetik memperlihatkan pola linier berarah utara–selatan dan baratlaut–tenggara yang diinterpretasikan sebagai indikasi keberadaan struktur geologi berupa sesar atau rekahan yang mengontrol heterogenitas sifat kemagnetan batuan bawah permukaan. Pola kelurusan ini sejalan dengan orientasi struktur regional yang dipengaruhi oleh sistem Great Sumatran Fault, yang secara regional berarah baratlaut–tenggara dan berperan penting dalam pembentukan struktur sekunder di wilayah Natar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa daerah panas bumi Natar didominasi oleh kelurusan berarah baratlaut–tenggara yang diasosiasikan dengan pengaruh deformasi regional tersebut (Juliarka et al., 2020). Keberadaan Sesar Lampung–Panjang di sekitar area penelitian diduga merupakan bagian dari sistem struktur lokal yang berkembang sebagai respon terhadap aktivitas tektonik regional,

sehingga menghasilkan rekahan dan sesar sekunder berarah utara–selatan maupun baratlaut–tenggara. Struktur-struktur tersebut diperkirakan meningkatkan permeabilitas batuan dan berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal menuju permukaan. Oleh karena itu, kemunculan manifestasi mata air panas di daerah penelitian diinterpretasikan berkaitan dengan zona rekahan atau sesar yang berkembang akibat deformasi ekstensional lokal.

3.2 Interpretasi Radargram GPR

Interpretasi radargram hasil pengukuran GPR (Gambar 3) menunjukkan bahwa GPR mampu meresolusi hingga kedalaman sekitar 50 m, dengan arah lintasan barat - timur dan melewati manifestasi air panas di daerah penelitian. Zona lapisan dangkal antara 0 – 10 m dari permukaan ditunjukkan oleh kemenerusan refleksi gelombang yang cukup jelas. Lapisan tersebut menjadi zona non-alterasi/batulempung tufan dari Formasi Lampung (garis merah putus – putus) yang berkembang di daerah penelitian. Zona lapisan dibawahnya (kedalaman 10 – 30 m) ditunjukkan oleh pola refleksi yang lebih *chaotic* sebagai indikasi dari keberadaan zona alterasi yang berkembang dan berfungsi sebagai lapisan penutup (*clay cap*) di daerah penelitian.



Gambar 3 Radargram hasil pengukuran GPR

3.3 Integrasi Data Geomagnetik dan Ground Penetrating Radar (GPR)

Integrasi hasil interpretasi geomagnetik dan GPR menunjukkan bahwa kedua metode saling melengkapi dalam mengidentifikasi sistem panas bumi dangkal di daerah penelitian. Hasil transformasi *Reduce to Pole* (RTP) memperlihatkan zona anomali magnetik rendah yang berasosiasi dengan manifestasi air panas dan diinterpretasikan sebagai zona alterasi hidrotermal, sedangkan radargram GPR mengidentifikasi lapisan alterasi (*clay cap*) pada kedalaman sekitar 10–30 m serta sesar atau rekahan yang berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal. Interpretasi ini didukung oleh hasil survei geolistrik yang dilaporkan oleh Santoso et al. (2025) sebagai data pembanding, yang menunjukkan zona resistivitas rendah ($<7 \Omega\text{m}$) pada lokasi yang berkorespondensi dengan anomali magnetik rendah dan hasil interpretasi GPR. Kesesuaian ketiga informasi tersebut mendukung model konseptual bahwa sistem panas bumi dangkal di daerah penelitian dikontrol oleh struktur sesar dan rekahan, sementara alterasi hidrotermal yang berkembang di sekitarnya menyebabkan penurunan sifat kemagnetan batuan.

IV. KESIMPULAN

Zona anomali rendah ($< -425 \text{ nT}$) berasosiasi dengan manifestasi air panas yang diinterpretasikan sebagai daerah demagnetisasi akibat alterasi dan peningkatan temperatur. Data GPR hingga kedalaman $\pm 50 \text{ m}$ menunjukkan lapisan non-alterasi pada kedalaman 0–10 m, zona alterasi berperan sebagai *clay cap* pada 10–30 m, serta lapisan lebih kontinu di bawah 30 m yang berpotensi sebagai reservoir dangkal, sejalan dengan zona resistivitas rendah ($<7 \Omega\text{m}$) hasil geolistrik pada kedalaman 5–20 m. Secara kualitatif, pola anomali linier berarah utara–selatan dan baratlaut–tenggara mengindikasikan keberadaan sesar dan rekahan sebagai jalur permeabilitas fluida yang dipengaruhi oleh segmen Sesar Lampung - Panjang. Interpretasi sistem panas bumi dangkal didasarkan pada keberadaan zona alterasi dan resistivitas rendah pada kedalaman 5–30 m yang teridentifikasi dari data geolistrik dan GPR. Selain itu, munculnya anomali magnetik rendah yang terlokalisasi di sekitar manifestasi air panas, menunjukkan aktivitas hidrotermal yang berkembang dekat permukaan dan dikontrol oleh struktur geologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., Maryanto, S., & Rachmansyah, A. (2016). Identification of geothermal reservoir with the geomagnetic method of the Blawan area in the subdistrict of Bondowoso. *Journal Neutrino*, 1– 10.
- Bellier, O., Sébrier, M., Bellon, H., Siame, L., Putranto, E., Beaudouin, T., & Villeneuve, M. (1997). Paleoseismicity and seismic hazard along the Great Sumatran Fault (Indonesia). *Journal of Geodynamics*, 24(1), 169–183.
- Comas, X., Slater, L., & Reeve, A. (2004). Geophysical evidence for peat basin morphology and stratigraphic controls on vegetation observed in a northern peatland. *Journal of Hydrology*, 295, 173–184.
- Furqan, A., Pujiastuti, D., Puryanti, D., & Putra, A. (2024). Pemodelan anomali magnetik untuk identifikasi struktur bawah permukaan bumi di Nagari Cupak, Kabupaten Solok. *Jurnal Fisika Unand*, 13(4), 476–482.
- Hidayati, N., Arman, Y., & Zulfian. (2022). Identifikasi struktur bawah permukaan daerah panas bumi dengan metode magnetik di daerah Tarutung bagian selatan dan sekitarnya, Provinsi Sumatra Utara. *Prisma Fisika*, 10(2), 206–213.
- Iqbal, M., Juliarka, B. R., Ashuri, W., & Al Farishi, B. (2019). Hydrogeochemistry of Natar and Cisarua hot springs in South Lampung, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 4(3), 175–184.
- Juliarka, B. R., & Iqbal, M. (2020). Model gaya berat 2D untuk mengungkap struktur geologi bawah permukaan pada daerah panas bumi Natar. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 2(1).
- Juniarti, E. (2017). Identification of geothermal reservoir at Kawah Wujung–Ijen complex, Bondowoso, East Java using magnetic and remote sensing methods (Master’s thesis). Universitas Brawijaya.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2017). Peta potensi panas bumi Indonesia. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE).
- Maubana, W. M., Maryanto, S., Utami, I. W., & Nadir, A. (2019). Reservoir magnetic anomaly at geothermal area of Mount Pandan, East Java, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(2), 1–10.
- Moeck, I. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867–882. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032>
- Nurapita, K. K. R., Samodra, S. B., & Utami, P. (2024). Detecting geothermal phenomena at Sikidang Crater area based on ground penetrating radar method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1373(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1373/1/012032>
- Rizki, R., Ashuri, W., Hakim, R. A., & Santoso, N. A. (2022). Subsurface survey of Cisarua Lampung hot springs using geochemical and gradiomagnetic method. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 8(1), 58–66. <https://doi.org/10.23960/jge.v8i1.176>
- Santoso, N. A., Junian, W. E., Ramayanti, F., Rizki, R., & Alawiyah, S. (2025). MULTIMETHOD APPROACH TO THE STUDY OF SUBSURFACE IN MERAK BATIN HOT SPRING, NATAR, LAMPUNG. *Jurnal Geosaintek*, 11(1), 63–71. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v11i1.3023>
- Santoso, N., Rizki, R., Hakim, R., & Ashuri, W. (2020). Identification distribution of hot spring in Cisarua using magnetic method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537, 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012006>
- Suharno, R. B., Aritonang, R., Zainuddin, A., & Rustadi. (2012). Sistem panas bumi Cisarua Natar Lampung Selatan. In *Proceedings of the 12th Annual Indonesian Geothermal Association Meeting & Conference* (Bandung, Indonesia, November 6–8, 2012).
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Thilakarathna, M. P., Abeysinghe, A. M. A. M., & Subasinghe, N. D. (2025). Use of ground magnetic survey in exploration of geothermal springs in a metamorphic terrain: A case

study from Sri Lanka. Geothermics,
<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2025.103486>

133,

103486.