

PEMETAAN ZONA PROSPEKIF *GEOTHERMAL* DI PULAU MAKIAN MENGUNAKAN ANALISIS MULTISPEKTRAL LANDSAT-8

Hanifa Usman¹, Dian Putri Auliya², Raudhatul Zahra Awan³ dan, Resti Limehuwey⁴.

¹Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234
E-mail: hanimuay@gmail.com

²Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura
Email : dianputriauliya20@gmail.com

³Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura
Email : raraawan23@gmail.com

⁴Jurusan Studi Teknik Geologi Universitas Pattimura
Email : resti.limehuwey@fatek.unpatti.ac.id

Abstrak Indonesia memiliki potensi energi panas bumi yang besar, terutama di daerah dengan aktivitas vulkanik tinggi, seperti Pulau Makian di Halmahera Selatan. Pemanfaatan energi panas bumi dapat menjadi solusi bagi keterbatasan pasokan listrik di daerah terpencil. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi panas bumi di Pulau Makian dengan menggunakan analisis citra satelit Landsat 8. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan citra satelit Landsat 8 untuk menganalisis *Land Surface Temperature* (LST) dan identifikasi anomali termal di permukaan. Selain itu, analisis geologi regional dilakukan untuk memahami kondisi litologi dan struktur geologi yang berperan dalam sistem panas bumi. Data citra satelit diolah menggunakan metode algoritma suhu permukaan tanah dengan mempertimbangkan nilai emisivitas dan koreksi atmosferik. Hasil penelitian menunjukkan adanya anomali suhu tinggi yang terkonsentrasi di sekitar Gunung Kie Besi, yang merupakan gunung api aktif di Pulau Makian. Peta LST yang dihasilkan menunjukkan kisaran suhu antara 14,5601°C hingga 32,64°C, dengan nilai tertinggi berada di area puncak gunung dan sekitarnya. Selain itu, keberadaan mata air panas yang ditemukan di sekitar area dengan anomali termal semakin menguatkan indikasi potensi panas bumi di wilayah ini. Hasil ini mengindikasikan bahwa Pulau Makian memiliki potensi *geothermal* yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk pengembangan energi berkelanjutan.

Kata kunci: Panas bumi, Landsat 8, *Land Surface Temperature*, Pulau Makian.

Abstract Indonesia has great *geothermal* energy potential, especially in areas with high volcanic activity, such as Makian Island in South Halmahera. Utilization of *geothermal* energy can be a solution to the limited electricity supply in remote areas. This study aims to identify the *geothermal* potential on Makian Island using Landsat 8 satellite imagery analysis. The method used in this study is Landsat 8 satellite imagery processing to analyze *Land Surface Temperature* (LST) and identify thermal anomalies on the surface. In addition, regional geological analysis was carried out to understand the lithology and geological structure conditions that play a role in the *geothermal* system. Satellite imagery data was processed using the *Land Surface Temperature* algorithm method by considering emissivity values and atmospheric corrections. The results showed a high-temperature anomaly that ranged around Mount Kie Besi, which is an active volcano on Makian Island. The resulting LST map shows a temperature range between 14.5601°C and 32.64°C, with the highest value in the mountain peak area and its surroundings. In addition, the presence of hot springs found around the area with thermal anomalies further strengthens the indication of *geothermal* potential in this region. These results indicate that Makian Island has *geothermal* potential that can be further utilized for sustainable energy development.

Keywords: Geothermal, Landsat 8, Land Surface Temperature, Makian Island.

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang masih bergantung pada energi berbahan bakar fosil, Indonesia perlu segera beralih ke sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Salah satu solusi utama dalam transisi energi ini adalah pengembangan energi terbarukan, yang juga dikenal sebagai energi hijau atau energi bersih [1]. Energi terbarukan mencakup sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami, seperti sinar matahari, angin, dan air. Berbeda dengan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara yang jumlahnya terbatas dan berdampak buruk terhadap lingkungan, energi terbarukan tidak akan habis dalam waktu dekat serta memiliki dampak minimal terhadap pemanasan global [2].

Di antara berbagai jenis energi terbarukan, energi panas bumi atau *geothermal* menjadi salah satu yang paling potensial di Indonesia. *Geothermal* merupakan energi yang terbentuk dalam kerak bumi akibat aktivitas geologi, seperti pergerakan lempeng tektonik. Indonesia memiliki potensi *geothermal* yang sangat besar, dengan estimasi mencapai 23,7 GW berdasarkan data Badan Geologi Kementerian ESDM pada Desember 2020 [3]. Salah satu wilayah dengan potensial geothermal yang signifikan adalah Provinsi Maluku Utara, termasuk Pulau Makian di Halmahera Selatan.

Maluku Utara terdiri dari 805 pulau, di mana sebagian besar desa-desa pesisirnya belum mendapatkan pasokan listrik yang memadai [4]. Meskipun rasio elektrifikasi nasional pada Triwulan 1 Tahun 2022 telah mencapai 99,52%, Provinsi Maluku Utara yang sebagian besar merupakan daerah 3T (terdepan, terluar, dan tertinggal) hanya mencapai 96,27% [5]. Hal ini menunjukkan bahwa masih bergantung pada bahan minyak (BBM) untuk kebutuhan listriknya. Ketergantungan ini menyebabkan pasokan listrik yang tidak stabil dan pemadaman yang berulang-ulang, sehingga menimbulkan keresahan bagi masyarakat [6].

Salah satu upaya dalam memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara berkelanjutan adalah dengan mengembangkan potensi energi *geothermal*. Pemanfaatan energi *geothermal* memiliki keunggulan karena ketersediaannya yang stabil sepanjang waktu dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Sebelum dilakukan melalui analisis citra satelit dengan metode penginderaan jauh. Teknik ini memungkinkan deteksi zona alterasi hidrotermal

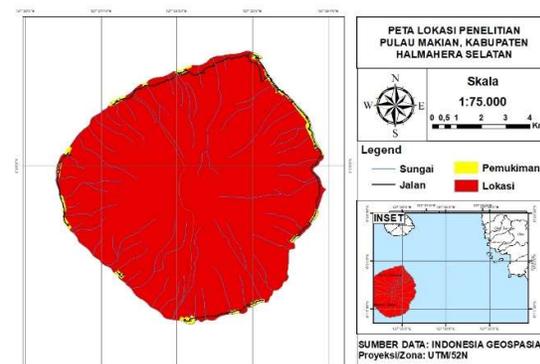
yang menjadi indikasi keberadaan sistem *geothermal*, salah satunya dengan memanfaatkan data Landsat 8 OLI TIRS [7].

Pemanfaatan citra satelit, khususnya data Landsat-8, telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian eksplorasi *geothermal*. Teknologi penginderaan jauh ini memungkinkan identifikasi anomali suhu, struktur geologi, serta perubahan komposisi batuan tanpa perlu melakukan survei langsung ke lokasi penelitian [8]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi geothermal di pulau Makian dengan menggunakan citra satelit landsat 8 sebagai langkah awal sebelum dilakukan studi lebih lanjut di lapangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Pulau Makian, Kabupaten Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara. Titik koordinat pengambilan adalah 0,32°LS – 0,50°LS dan 127,28°BT – 127,40°BT.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Prosedur Penelitian dan Persamaan

Penelitian ini menggunakan data Landsat-8 yang diperoleh dari USGS. Data satelit yang digunakan merupakan data pada tahun 2023. Data yang digunakan untuk penelitian merupakan citra Landsat 8, khususnya band 4 (*Red*) dan band 5 (*Near Infrared*) yang dihasilkan oleh sensor *Operational Land Imager* (OLI), serta band 10 (*Thermal Infrared*) yang dihasilkan oleh sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) [9]. Menurut Paruntung. Landsat 8 TIRS memiliki dua *thermal infrared band*, yaitu band 10 dan band 11. Namun, band 10 pada citra Landsat 8 TIRS lebih unggul mengidentifikasi area dengan suhu tinggi dibandingkan band 11 [10]. Oleh karena itu, pada penelitian ini hanya menggunakan band 10. Selain

itu, band 4 dan band 5 digunakan untuk menghitung nilai NVDI.

Pengolahan ini diawali dengan melakukan koreksi radiometrik. Koreksi ini digunakan untuk mengkonversi *Digital Number* (DN) ke *Top of Atmosphere* (TOA) *Radiance* dengan menggunakan persamaan 1 berikut ini ^[11].

$$L\lambda = ML \times Qcal + Al - O1 \quad (1)$$

Dimana :

$L\lambda$ = TOA *spectral radiance* (watts/(m²*sr* μ m))

ML = *Radiance multiplicative band*

AL = *Radiance add band*

Qcal = *Quantized and calibrated standart product pixel values* (DN)

O₁ = Nilai koreksi band 10 yaitu 0.29

Selanjutnya dilakukan konversi ke *Top of Atmosphere* (TOA) *Brightness Temperature* (BT) dengan menggunakan nilai konstanta termal ^[12]. Proses konversi ini menggunakan persamaan 2 berikut.

$$BT = \frac{K2}{in} \left(\frac{K1}{L\lambda} + 1 \right) - 273.15 \quad (2)$$

Dimana :

BT = *Top of Atmosphere Brightness Temperature* (°C)

$L\lambda$ = TOA *spectral radiance* (Watts/(m²*sr* μ m))

K1 = K1 *constant band*

K2 = K2 *constant band*

Setelah itu, dihitung nilai *Normalized Difference Vegetarian Index* (NDVI) untuk mengetahui ukuran kepadatan vegetasi pada suatu area dengan persamaan 3 berikut ^[13].

$$NDVI = \frac{RNIR-}{RNIR+RR} \quad (3)$$

Dimana :

NDVI = Nilai Indeks Vegetasi

RNIR = Radiasi cahaya inframerah dari piksel (band 5)

RR = Radiasi cahaya merah dari piksel (band 4)

Nilai NVDI harus berkisar antara -1 dan 1, dimana nilai dibawah 0.2 menunjukkan tanah kosong, di atas 0.5 menunjukkan vegetasi penuh, dan antara 0.2 hingga 0.5 menunjukkan area campuran. Berikutnya dilakukan Perhitungan *Land Surface Emissivity* (LSE) yang dihitung dari

nilai NDVI ^[14]. Nilai ini dihitung menggunakan persamaan 4 berikut.

$$PV = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{(NDVI_{max} + NDVI_{min})^2} \quad (4)$$

Dimana :

PV = Proporsi dari vegetasi

NDVI = Nilai DN dari gambar NDVI

NDVI_{min} = Nilai DN dari gambar NDVI *minimum*

NDVI_{max} = Nilai DN dari gambar NDVI *maximum*

Kemudian, nilai emisivitas (e) dapat dihitung dengan mempertimbangkan keragaman tutupan lahan dengan persamaan 5 berikut ^[15].

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

Dimana :

E = *Land Surface Emissivity* (emisi permukaan darat)

PV = Proporsi dari vegetasi

0.986 = nilai koreksi persamaan

Setelah itu, dilakukan konversi dari *satellite temperature* menjadi *Land Surface Temperature* (LST) dengan persamaan 6 berikut ^[16].

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\lambda * \frac{BT}{C2}) * LN(e))} \quad (6)$$

Dimana :

BT = *Top of Atmosphere Brightness Temperature* (°C)

λ = Panjang gelombang radiasi yang dipancarkan

E = *Land Surface Emissivity* (emisi permukaan darat)

C2 = $h * c / s = 1.4338 * 10^{-2} mK = 1438 mK$

H = konstan plank $6.626 * 10^{-34} Js$

S = konstan boltzman = $1.38 * 10^{-23} Jk$

C = kecepatan Cahaya : $2.998 * 10^8 m/s$

Setelah didapatkan nilai suhu permukaan dari data citra Landsat, dilakukan pemotongan (*cropping*) berdasarkan batas administrasi area studi. Peta *Land Surface Temperature* (LST) yang dihasilkan menunjukkan distribusi suhu permukaan tanah yang dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kondisi penutup lahan, radiasi matahari, dan aktivitas penggunaan lahan ^[17].

Karena penelitian ini berfokus pada potensi *geothermal*, perlu dilakukan pemisahan suhu

permukaan yang tidak berkaitan dengan aktivitas *geothermal*. Pemisahan ini dilakukan melalui *overlay* peta LST dengan area pemukiman. Hal ini digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pengaruh pemukiman penduduk terhadap nilai suhu permukaan daerah penelitian [18].

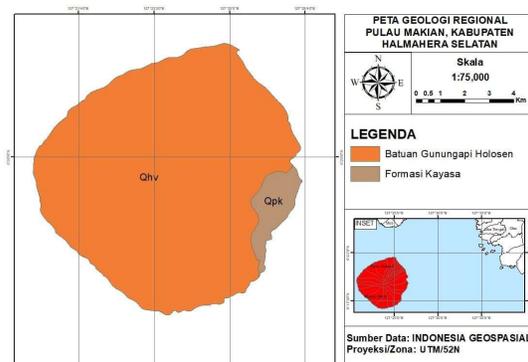
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Geologi Regional

Berdasarkan hasil pemetaan geologi yang dilakukan dalam penelitian ini (gambar 2), litologi utama Pulau Makian terdiri dari batuan gunungapi Holosen yang terdiri dari breksi andesit, lava andesit – basal, dan tufa [19]. Di bagian timur pulau terdapat formasi Kayasa, litologinya terdiri dari breksi, lava, dan tufa [20].

Pulau Makian juga memiliki indikasi manifestasi *geothermal* yang ditandai dengan keberadaan mata air panas Waya Makawa terletak di Desa Ploly yang memiliki kandungan silika lebih dari 50% dan bertipe fluida alkali klorida serta merupakan *immature water* [21].

Struktur geologi di wilayah ini memperlihatkan kehadiran tiga sesar utama. Dua sesar teridentifikasi di lereng bagian utara dengan arah relatif utara–selatan, di mana blok bagian timur merupakan blok yang turun. Sesar lainnya berada di lereng timur-tenggara dengan arah barat–tenggara dan blok yang turun berada di bagian utara [22]. Sesar-sesar ini berperan sebagai pengontrol keluarnya fluida panas bumi ke permukaan [23].



Gambar 2. Peta Geologi Regional Pulau Makian

3.2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI dihitung berdasarkan perbedaan penyerapan cahaya pada panjang gelombang inframerah dekat (band 5) dan merah (band 4) oleh klorofil dalam tanaman [24]. Nilai NDVI memiliki rentang antara -1,0 sampai 1,0. Kelas-

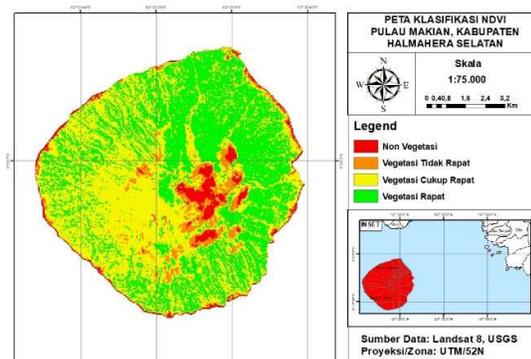
kelas klasifikasi yang digunakan mengacu pada Sunaryo & Iqmi [25].

Hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 tahun 2023 menunjukkan sebaran nilai NDVI di Pulau Makian berada pada rentang -0,12 - 0,64. Berdasarkan nilai tersebut, klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi di daerah pulau makian dibagi menjadi:

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDVI di Pulau Makian tahun 2023

Rentang NDVI	Klasifikasi
-0,12 – 0,17	Non-vegetasi
0,18 – 0,32	Vegetasi tidak rapat
0,33 – 0,44	Vegetasi cukup rapat
0,52 – 0,64	Vegetasi rapat

Area sekitar gunung api termasuk dalam klasifikasi non vegetasi dengan rentang nilai NDVI -0,12 – 0,17. Bagian barat pulau didominasi oleh vegetasi cukup rapat yang divisualisasikan dengan warna kuning dengan nilai NDVI 0,33 – 0,44. Sementara itu, bagian timur pulau didominasi oleh warna hijau yang merupakan klasifikasi vegetasi rapat dengan nilai NDVI 0,52 – 0,64. Adapun klasifikasi yang memiliki cakupan area terkecil yaitu area vegetasi tidak rapat ditunjukkan dengan warna *orange* dengan nilai NDVI 0,18 -0,32.



Gambar 3. Peta NDVI tahun 2023

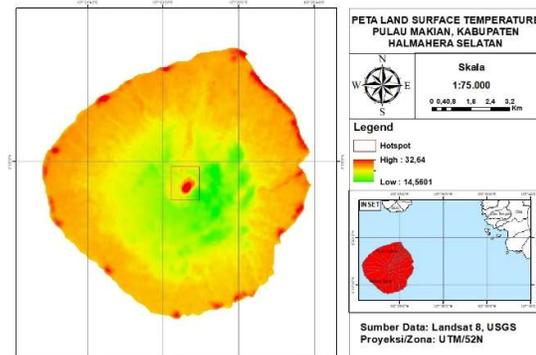
3.3. Land Surface Temperature (LST)

Suhu permukaan suatu wilayah dapat diidentifikasi dari citra satelit Landsat yang diekstrak dari kanal thermal. Dalam penginderaan jauh, suhu permukaan darat dapat didefinisikan sebagai suatu temperatur rata-rata dari suatu permukaan, yang digambarkan dalam cakupan suatu piksel dengan berbagai tipe permukaan yang berbeda [11].

Hasil pemetaan LS (Gambar 3) menunjukkan bahwa nilai LST di Pulau Makian berkisar antara 14,5601°C hingga 32,6°C. Daerah dengan suhu tertinggi ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan daerah dengan suhu lebih rendah ditampilkan dalam warna hijau hingga kuning.

Dari hasil analisis peta LST, terdapat konsentrasi suhu tinggi yang berada di sekitar Gunung Kie Besi. Daerah ini berpotensi menjadi hotspot geotermal, yang diindikasikan oleh warna merah pada peta. Konsentrasi suhu tinggi ini diduga berkaitan dengan aktivitas vulkanik serta kemungkinan adanya sistem *geothermal* di bawah permukaan.

Hal ini didukung juga dengan penjelasan pada geologi regional sebelumnya, dimana Pulau Makian memiliki manifestasi air panas dan sesar-sesar yang berperan sebagai pengontrol keluarnya fluida ke permukaan [21],[22],[23].



Gambar 4. Peta LST tahun 2023

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), dan *Land Surface Temperature* (LST) serta didukung oleh geologi regional, dapat disimpulkan bahwa Pulau Makian memiliki potensi *geothermal*, terutama di area sekitar Gunung Kie Besi. Nilai LST menunjukkan suhu 32,64°C di sekitar Gunung Kie Besi, sementara nilai NDVI di area yang sama termasuk klasifikasi non vegetatif. Di Pulau Makian juga ditemukan adanya manifestasi *geothermal* dan sesar.

Pemanfaatan citra satelit dan pengideraan jauh terbukti menjadi alat eksplorasi awal yang efisien dalam mengidentifikasi area prospek panas bumi tanpa survei langsung. Namun diperlukan adanya penelitian lebih lanjut seperti survei gaya berat untuk memastikan prospek *geothermal* terduga.

Pengembangan energi di wilayah 3T (terdepan, terluar, tertinggal), dan menjadi solusi jangka panjang bagi keberlanjutan pasokan listrik di daerah terpencil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Resti selaku dosen pembimbing dan penulis keempat yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan yang sangat berarti dalam penyusunan jurnal ini.

Penghargaan juga kami sampaikan atas kerja sama tim yang solid antara penulis utama dan rekan-rekan satu tim, yang telah bekerja secara aktif dalam proses pengolahan data dan penyusunan keseluruhan isi jurnal. Segala bentuk usaha, diskusi, dan dedikasi yang diberikan merupakan kunci dalam terselesaikannya penelitian ini.

Semoga jurnal ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan potensi energi *geothermal* di Indonesia, khususnya pada wilayah-wilayah yang memiliki prospek *geothermal* seperti Pulau Makian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Tugus, “Transisi Energi Menuju Energi Baru dan Terbarukan,” Kementerian Keuangan Direktorat Jendral Kekayaan Negara. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpknl-jambi/baca-artikel/16932/Transisi-Energi-Menuju-Energi-Baru-dan-Terbarukan.html>
- [2] Pertamina, “Energi Terbarukan,” Pertamina. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: https://onesolution.pertamina.com/Insight/P age/Energi_Terbarukan.
- [3] “Potensi Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia,” Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE), Kementerian ESDM. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasi-ebtke/sektor-panas-bumi/potensi>
- [4] S. Ridzki, “Tidak Hanya Terpasang, PLTS di Halmahera Selatan Perlu Dirawat agar Tidak Rusak,” Mongabay.co.id. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.mongabay.co.id/2023/08/13/tidak-hanya-terpasang-plts-di-halmahera-selatan-perlu-dirawat-agar-tidak-rusak/amp/>
- [5] B. Setiaji, “Potensi Panas Bumi (*Geothermal*) di Desa Idamdehe Jailolo Kabupaten Halmahera Barat Provinsi Maluku Utara,” Direktorat Jenderal Kekayaan Negara (DJKN) kementerian Keuangan Republik Indonesia. Accessed:

- Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kpknl-ternate/baca-artikel/15242/Potensi-Panas-Bumi-Geothermal-di-Desa-Idamdehe-Jailolo-Kabupaten-Halmahera-Barat-Provinsi-Maluku-Utara.html>
- [6] penamalut, "Pemadaman Listrik Berulang-ulang, PLN Pulau Makian Dikecam," penamalut.com. Accessed: Apr. 11, 2025. [Online]. Available: <https://penamalut.com/2025/02/06/pemadaman-listrik-berulang-ulang-pln-pulau-makian-dikecam/>
- [7] D. A. K. Rizdinanti, W. Jhanesta, Identifikasi Persebaran Alterasi Hidrotermal Menggunakan Komposit Band Landsat 8 OLI TIRS (Studi Kasus: Gunung Papandayan, Garut, Indonesia), Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2021, Yogyakarta, 20 Maret 2021, D-12-D-19.
- [8] S. H. Siombone and M. U. S. Maba, "Land Cover, Land Surface Temperature and Geomorphology Structure at Tulehu Geothermal Area, Ambon, Indonesia," no. November 2021, 2023.
- [9] A. N. A. Aos and N. Putri, "Dinamika Vegetasi dan Suhu Permukaan Lahan Berbasis Remote Sensing di Waduk Jatigede Provinsi Jawa Barat: Studi Pendahuluan," *J. Geosains dan Remote Sens.*, vol. 4, no. 2, pp. 67–76, 2023, doi: 10.23960/jgrs.ft.unila.112.
- [10] Paruntu, S., Bujung, C. A. N., & Medellu, C. (2014). Identifikasi Sebaran Temperatur Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi Melalui Analisa Citra Landsat 8 TIRS (Studi Kasus Daerah Gunung Soputan dan Sekitarnya). JSME MIPA UNIMA, Vol. 2, No. 5, 19 September 2014.
- [11] A. Pemetaan, P. Panas, and T. Barat, "METODE PENGINDERAAN JAUH (STUDI KASUS : KECAMATAN HU'U, KABUPATEN DOMPU, NUSA METODE PENGINDERAAN JAUH (STUDI KASUS : KECAMATAN HU'U, KABUPATEN DOMPU, NUSA)," 2021.
- [12] A. R. Sagita, A. S. C. Margaliu, F. Rizal, dan H. P. Mazzaluna, "Analisis Korelasi Suhu Permukaan, NDVI, Elevasi dan Pola Perubahan Suhu Daerah Panas Bumi Rendingan-Ulubelu-Waypanas, Tanggamus Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS," *Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS)*, vol. 3, no. 1, pp. 43–51, 2022. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.72>
- [13] R. F. Ramadhan and R. A. Saputra, "Identifikasi Area Prospek Panas Bumi Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM : Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan," *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 11, no. 2, pp. 37–50, 2021, doi: 10.37525/sp/2021-2/294.
- [14] H. Hanifa, "Estimasi LAND SURFACE TEMPERATURE DI DUSUN REALOLO, DESA SAMAENRE, KECAMATAN MALLAWA, KABUPATEN MAROS," *Https://Medium.Com/*, 2021, [Online]. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- [15] F. Abdullah, M. Yanis, A. Vahreza, M. Isa, and N. Zaini, "Pemetaan potensi geothermal Seulawah Agam berdasarkan data DEMNAS dan Landsat 8," *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 12, no. 2, p. 151, 2022, doi: 10.13057/ijap.v12i2.49158.
- [16] A. N. Saputri, L. Rahmawati, dan A. N. Aziza, "Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Mengidentifikasi Keberadaan Heat Flow di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat," *Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS)*, vol. 3, no. 1, pp. 36–42, 2022. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.73>
- [17] H. Rakuasa and S. Pertuack, "Pola Perubahan Suhu Permukaan Daratan di Kecamatan Ternate Tengah, Kota Ternate Tahun 2013 dan 2023 Menggunakan Google Earth Engine," *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 78–85, 2023, doi: 10.56211/sudo.v2i2.271.
- [18] S. A. Niken, "Analisis Potensi Panas Bumi Suoh Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)," 2023, [Online]. Available: <http://digilib.unila.ac.id/76100/>
- [19] R. Wulansari, F. N. F. Athallah, and S. W. L. Pambudi, "Karakteristik Geomorfologi Tanah pada Formasi Geologi Kuartar Gunung Api Holocen di Wilayah Kepulauan Maluku Utara," *J. Ecosolum*, vol. 11, no. 2, pp. 168–178, 2022, doi: 10.20956/ecosolum.v13i2.39868.

- [20] R. Irzon, “Proses Pembentukan dan Asal Material Formasi Kayasa di Halmahera Berdasarkan Unsur Jejak dan Unsur Tanah Jarang *Genesis and Material Source of Kayasa Formation in Halmahera Based on Trace and Rare Earth Elements* yang memanjang ke Pulau Gebe hingga ke rela,” vol. 40, no. 1, pp. 19–32, 2019.
- [21] R. W. Ningrum, S. Taib, M. Aswan, F. Teknik, and U. P. Morotai, “Kajian Kandungan Mineral Sinter Silika , Suhu Permukaan , dan Tipe Fluida Air Panas Waya Makawa Desa Ploly , Pulau Makian , Maluku Utara,” vol. 21, pp. 118–127, 2024.
- [22] Y. Sasongko dan A. R. Mulyana, “Laporan Pemetaan Geologi Gunungapi Kie Besi (Makian), Kab. Maluku Utara, Prov. Maluku,” *Laporan Lapangan, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi*, 1999.
- [23] T. Hartini, *Interpretasi Gradient Horizontal Dan Second Vertical Derivative Serta Pemodelan 2,5D Anomali Geomagnetik Di Area Hot Spring Natar, Lampung*. 2024.
- [24] E. R. Sri dan H. Dian, “Analisis Komparatif Penggunaan Indeks Vegetasi Daerah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dalam Mendeteksi Tingkat Vegetasi di Areal Bekas Tambang,” pp. 709–720, 2023.
- [25] A. Hardianto, P. U. Dewi, T. Feriansyah, N. F. S. Sari, and N. S. Rifiana, “Pemanfaatan Citra Landsat 8 Dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung),” *J. Geosains dan Remote Sens.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2021, doi: 10.23960/jgrs.2021.v2i1.38.