



GEOHERMAL ESTIMATION IN PANTAR, NUSA TENGGARA TIMUR BASED ON LAND SURFACE TEMPERATURE

Reza Mochammad Akbar¹, Ahmad Zarkasyi², Mimin Iryanti¹

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi XI)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

16 Agustus 2025

Abstract

Pantar Island in East Nusa Tenggara is one of the regions located on the Pacific Ring of Fire and is part of the active volcanic zone of Mount Sirung. This condition gives Pantar great geothermal potential, marked by surface manifestations in the form of hot springs and hot soil. However, the utilisation of geothermal energy in this region is still not optimal due to limited research specifically identifying prospective areas, coupled with high investment and exploration costs. This study aims to estimate geothermal areas on Pantar Island through analysis of surface temperature anomalies (Land Surface Temperature/LST) using a remote sensing approach. The data used are Landsat 9 images with Thermal Infrared Sensor (TIRS) bands. Anomalies were determined using the classify method, which groups temperature values into fewer categories, and the quantile method, which divides the data range into equal numbers of data. In general, temperatures above 37.8 °C are considered LST anomalies. The analysis results show four areas of surface temperature anomalies, with indications of geothermal areas in the northeast of Mount Sirung, covering several manifestations. These findings are expected to provide preliminary information on the geothermal potential of Pantar Island, which can serve as a basis for recommendations for further research and planning for the utilisation of geothermal energy that is economically viable, clean, and sustainable.

Keywords: Estimation · Geothermal · Land Surface Temperature · Magnetotelluric · Pantar

PENDAHULUAN

Pulau Pantar di Nusa Tenggara Timur merupakan salah satu pulau di Indonesia, yang berada di wilayah cincin api pasifik (Ring of Fire) (Rahadinata et al., 2019; Alhamri & Suryani, 2016). Kondisi ini menjadikan pulau Pantar termasuk ke dalam zona subduksi (penunjaman) yang memiliki potensi panas bumi cukup besar, ditandai dengan manifestasi permukaan seperti air panas dan tanah panas (Nurhadi & Kusnadi, 2015). Secara geologis, Pantar terletak di jalur vulkanik aktif Gunung Sirung yang masih berstatus gunung api aktif dengan catatan aktivitas vulkanik tinggi. Aktivitas vulkanik tinggi seperti ini, umumnya memiliki potensi berupa energi panas bumi yang sangat besar (Fildzah Hakim et al., 2022).

Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang bersih, stabil, dan berkelanjutan. Sumber energi ini berasal dari bawah permukaan, terbentuk akibat interaksi antara batuan panas dengan air tanah, air yang terpanaskan kemudian terjebak di dalam batuan

✉ Reza Mochammad Akbar
reza08akbar@upi.edu

Mimin Iryanti
mien_iryanti@upi.edu

Ahmad Zarkasyi
zarkasyiahmad@gmail.com

¹ Physics Study Program, Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung, Indonesia.

² Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panasbumi, ESDM. Bandung, Indonesia.

dekat permukaan, sehingga membuatnya layak untuk dimanfaatkan dan bernilai secara ekonomis (Augusty et al., 2023). Namun demikian, pemanfaatan potensi panas bumi di Pantar masih belum optimal karena keterbatasan data serta tingginya biaya jika dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar fosil (Marry et al., 2017).

Dalam studi awal eksplorasi panas bumi, anomali suhu permukaan (Land Surface Temperature) sering digunakan sebagai indikator awal adanya panas bumi (Gemitzi et al., 2021). Pemetaan Land Surface Temperature (LST) secara spasial dengan memanfaatkan data satelit, seperti Landsat 9, memungkinkan untuk mengidentifikasi area dengan suhu permukaan yang relatif lebih tinggi. Pemetaan ini dapat dianalisis melalui data suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature) yang diperoleh dari pengolahan band thermal pada citra satelit. Area dengan anomali LST mengindikasikan adanya potensi panas bumi di bawahnya, karena panas dari reservoir di kedalaman dapat merambat dan menyebabkan peningkatan suhu lokal di permukaan.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan efektivitas metode ini. Hashim et al., (2017) menyatakan bahwa penginderaan jauh berbasis LST banyak memanfaatkan untuk eksplorasi panas bumi dan secara efektif mampu mengidentifikasi penyebaran panas pada manifestasi prospek panas bumi (Primastika et al., 2023). Penelitian yang menggunakan citra Landsat 8 di daerah sekitar Gunung Sirung, misalnya, memperoleh nilai Land Surface Temperature sekitar $26.1^{\circ}\text{C} - 29.5^{\circ}\text{C}$, diindikasikan sebagai manifestasi berupa mata air panas (Primastika et al., 2023). Pada penelitian Qin et al., (2011) berhasil mengidentifikasi anomali panas bumi menggunakan algoritma Single Chanel pada data termal dari Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM)+. Lebih lanjut, Tian et al., (2015) mengambil pendekatan komprehensif di Pulau Hokaido, Jepang, dengan menggabungkan data Landsat 8 Operational Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS) yang mencakup spektrum luas, bersama dengan SST (Sea Surface Temperature) 3D dan pengukuran LST di lapangan, untuk menilai potensi sumber daya panas bumi secara komprehensif.

Meskipun demikian, sampai saat ini belum ada penelitian yang secara spesifik memanfaatkan citra Landsat 9 untuk mengidentifikasi daerah panas bumi potensi panas bumi di Pulau Pantar. Keterbatasan informasi menjadi salah satu hambatan dalam upaya pemanfaatan energi panas bumi di wilayah ini, ditambah dengan tingginya biaya eksplorasi konvensional yang membuat kegiatan survei lapangan masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menduga daerah panas bumi di Pulau Pantar, Nusa Tenggara Timur melalui analisis anomali suhu permukaan berbasis citra Landsat 9. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi awal mengenai wilayah yang berpotensi secara ekonomi untuk pengembangan energi panas bumi, sekaligus mendukung optimalisasi pemanfaatan sumber daya energi terbarukan di kawasan Pantar.

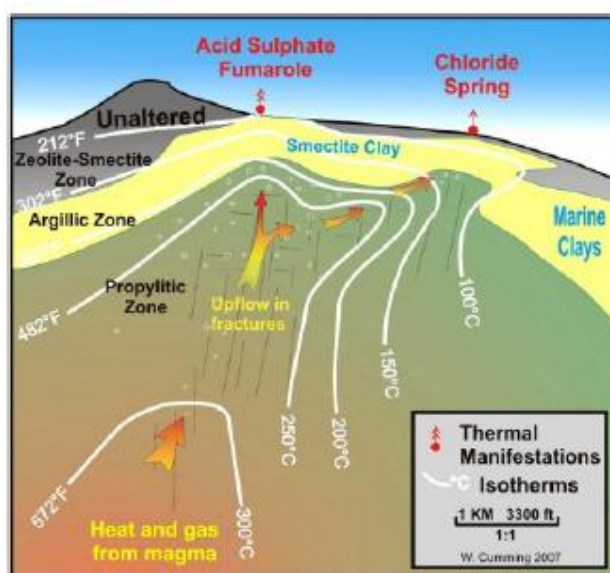
Teori

Panas Bumi

Panas bumi atau geothermal merupakan total panas yang terperangkap di dalam bumi dan merupakan salah satu sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan, berupa energi panas dalam bentuk fluida air panas ataupun steam panas (Muhammad & Adhitia, 2021). Membentuk sebuah sistem panas bumi yang telah ada sejak pembentukan bumi di mana lalu, energi panas

bumi ini berkelanjutan dan keseimbangannya terjaga karena proses pembentukannya terus berlangsung sejalan dengan kondisi geologis dan hidrologis bumi (Alhamri & Suryani, 2016).

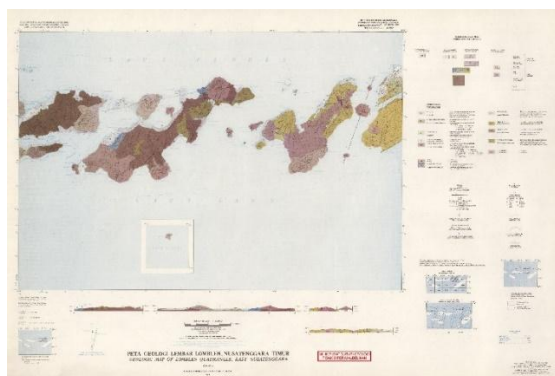
Sistem geothermal di Indonesia umumnya berbentuk hidrotermal. Sistem tersebut berupa reservoir atau tempat penyimpanan yang berisi uap air, air, atau kombinasi keduanya. Secara umum, sistem panas bumi ini terpengaruh oleh sumber panas atau heat source, batuan reservoir atau batuan penyimpanan, caprock atau lapisan penutup, karakteristik geologi, dan pola aliran fluida. Kehadiran sistem panas bumi bisa dikenali melalui resistivitas batuan yang membentuknya. Perbedaan resistivitas antara setiap bagian komponen sistem panas bumi dapat diilustrasikan sebagai struktur resistivitas di bawah permukaan, yang mendukung pembuatan model konseptual sistem panas bumi (Gambar 1) (Andini et al., 2020). Sistem geothermal atau panas bumi di Indonesia dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu vulkanik, vulkanotektonik, dan non-vulkanik. Lapangan panas bumi non-vulkanik ini belum dimanfaatkan secara terstruktur di Indonesia (Arafat, 2019).

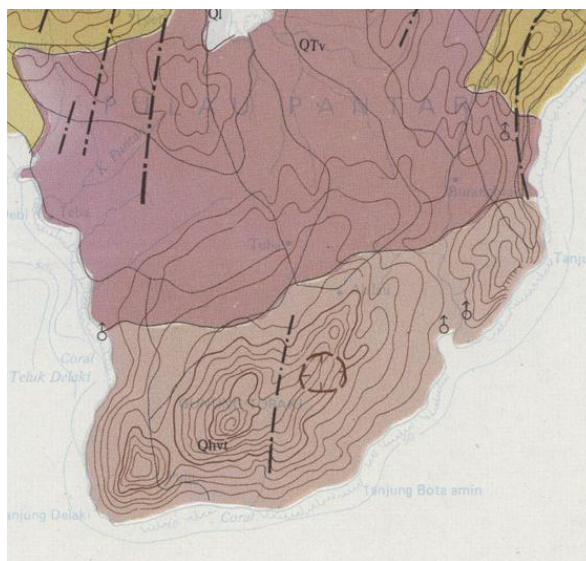


Gambar 1. Conceptual Model Panas Bumi (Cumming & Mackie, 2010)

Geologi Sekitar

Kawasan sekitar Gunung Sirung memiliki karakteristik geologi yang didominasi oleh batuan vulkanik (Hadi & Kusnadi, 2016). Gambar 2 menyajikan Peta Geologi Lembar, NTT.





Gambar 2. Karakteristik Geologi Lembar, NTT (Modifikasi dari ESDM, 2025)

Batuan di daerah penelitian didominasi oleh batuan gunung api muda (Qhv) dan batuan gunung api tua (Qhvt). Struktur geologi yang berkembang di wilayah ini memiliki pola utama berarah utara-selatan, yang berfungsi sebagai pembatas antara kedua produk vulkanik tua tersebut. Pola ini juga berkaitan dengan dinamika tektonik regional yang memengaruhi Pulau Pantar dan Pulau Alor. Proses pembentukan batuan ini berkaitan dengan aktivitas vulkanik yang menghasilkan berbagai material, termasuk aliran lava, endapan piroklastik, serta material lepas seperti scoria dan lapili. Komposisi utama dari batuan vulkaniknya didominasi oleh andesit-basaltik, yang mencerminkan variasi sifat letusan antara efusif dan eksplosif. Selain itu, di beberapa bagian lereng gunung ditemukan breksi vulkanik yang mengandung fragmen batuan berukuran besar dalam matriks vulkanik, menandakan bahwa di masa lalu pernah terjadi erupsi dengan tingkat energi yang cukup tinggi (Rahadinata et al., 2019).

Pola struktur geologi yang berperan penting dalam pemunculan manifestasi panas bumi adalah pola struktur -124o-7'W - 8o26'S dari manifestasi tanah panas puriali dan air panas airmama, kemudian pola struktur -124o-8'W - 8o28'S dari manifestasi Tanah Panas Airmama, pola struktur -124o-9'W - 8o26'S dari manifestasi Tanah Panas Bukit Beang, dan pola struktur -124o-8'W - 8o26'S dari manifestasi Tanah Panas Kualarau di daerah penelitian. Kemunculan manifestasi permukaan yang terbentuk diduga akibat aktivitas sesar normal, sesar vulkanik, serta dinamika tektonik yang masih berlangsung hingga saat ini (Nurhadi & Kusnadi, 2015).

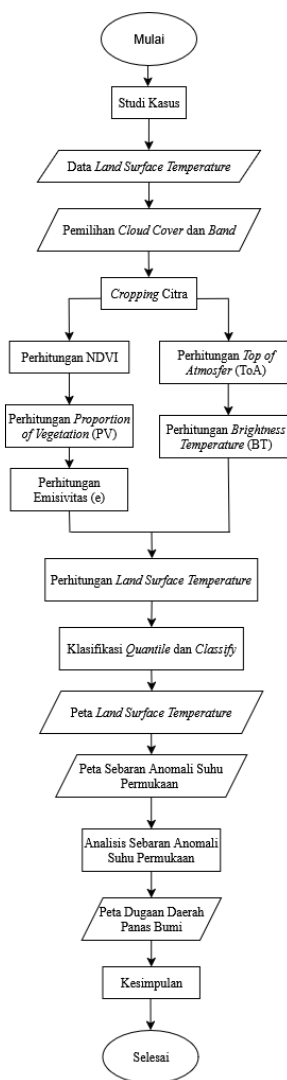
Tabel 1. Manifestasi (Modifikasi dari Nurhadi & Kusnadi, 2015)

No.	Manifestasi	Latitude(meter)	Longitude(meter)	Elevasi(meter)	Temperature(°C)
1.	Tanah Panas Airhama	628175	9066429	193	31.70 – 93.30
2.	Tanah Panas Bukit Beang	627861	9063059	378	60.00 – 93.50
3.	Tanah Panas Kualarau	628744	9065212	126	63.70 – 101.00
4.	Tanah Panas Puriali	627025	9064251	296	41.20 – 97.10

No.	Manifestasi	Latitude(meter)	Longitude(meter)	Elevasi(meter)	Temperature(°C)
5.	Air PanasKawah Sirung	623879	9060115	400	31.50 – 99.89
6.	Air PanasAirmana	624701	9058363	117	31.50 – 58.78
7.	Air PanasTubbe	622680	9072039	4.88	30.99 – 37.23
8.	Fumarol /Solfatara	623959	9060051	445	-

METODE

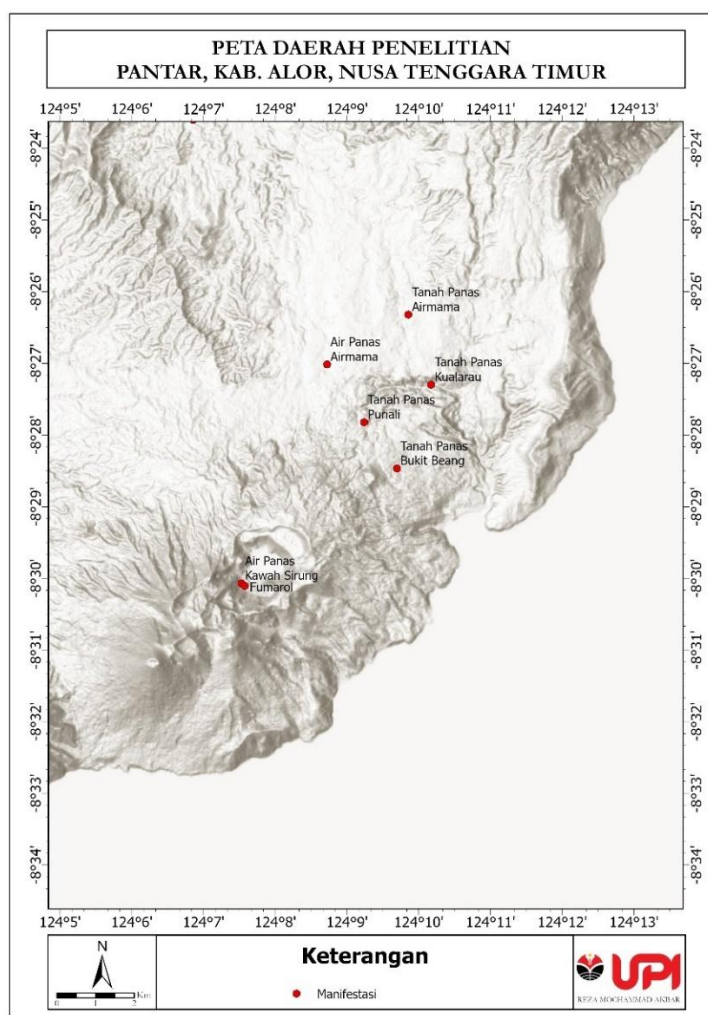
Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analitik yaitu metode mengumpulkan data tanpa melakukan akuisisi data secara langsung dan menganalisis data yang diperoleh dengan ditunjang beberapa kajian ilmiah dan menggunakan metode pendekatan kuantitatif dengan data penelitian berupa angka-angka (Sugiyono, 2014). Proses pengolahan LST dilakukan menggunakan Band 4 dan Band 5 dari citra Landsat 9. Proses ini menggunakan software ArcGIS Pro 3.1.5, sehingga diperoleh peta anomali suhu permukaan (Gambar 3).



Gambar 3. Alur Penelitian

Lokasi Penelitian

Studi area yang dilakukan berada di Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur (NTT), Indonesia, mencakup wilayah sekitar Gunung Sirung. Studi area berjarak sekitar 77 km dari pusat Kota Kalabahi, Ibu Kota Kabupaten Alor, dengan perjalanan laut menuju Pulau Pantar yang memakan waktu sekitar 2-3 jam perjalanan. Luas area penelitian sekitar 14 x 17 kilometer meliputi zona kawah utama, daerah sekitarnya yang terdampak aktivitas vulkanik, serta wilayah yang berpotensi mengandung indikasi panas bumi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Studi Area Penelitian

Land Surface Temperature

Metode Land Surface Temperature (LST) pada penelitian ini memanfaatkan data citra satelit Landsat 9. Nilai LST dikendalikan oleh keseimbangan energi di permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan, dan media bawah permukaan (Faridah & Krisbiantoro, 2014). Land Surface Temperature ini dihasilkan dari pantulan objek yang terekam oleh sensor satelit pada waktu tertentu (Yatimas Murni et al., 2021). Data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi anomali suhu di permukaan bumi, yang dapat mengindikasikan keberadaan sistem panas bumi. Pendekatan ini didasarkan pada prinsip bahwa daerah dengan aktivitas panas bumi, cenderung memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan area di sekitarnya.

Pengolahan data umumnya dimulai dengan meng-input band citra Landsat 9 dalam file *.TIF ke dalam software ArcGIS Pro. Data tersebut kemudian di cropping menggunakan fungsi clip raster. Selanjutnya, data band yang sudah di clip akan digunakan untuk menghitung normalized difference vegetation index (NDVI), dilanjutkan dengan perhitungan top of atmosfer (TOA) untuk menghilangkan pengaruh variasi iradiansi matahari dan perbedaan sensor. Setelah itu, dihitung proportion of vegetation (PV) dan emisivitas (e). Nilai – nilai ini kemudian akan di konversi menjadi nilai suhu kecerahan (brightness temperature). Sebagai tahap akhir, perhitungan land surface temperature (LST) dilakukan menggunakan software ArcGIS Pro.

Data Land Surface Temperature

Satelit Landsat 9 memiliki sensor dengan jumlah kanal sebanyak 11 buah. Diantara band tersebut, 9 band (Band 1-9) berada pada Sensor Onboard Operational Infrared Sensor (OLI), sedangkan 2 band lainnya (Band 10 dan 11) termasuk Thermal Infrared Sensor (TIRS) seperti tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Band Citra Satelit Landsat 9 (Modifikasi dari NASA, 2013)

Band	Panjang Gelombang (µm)	Resolusi Spasial (meter)	Channel
1.	0.433 – 0.453	30	Coastal/Aerosol
2.	0.450 – 0.515	30	Blue
3.	0.525 – 0.590	30	Green
4.	0.630 – 0.680	30	Red
5.	0.845 – 0.885	30	NIR
6.	1.560 – 1.660	30	SWIR-1
7.	2.107 – 2.294	30	SWIR-2
8.	0.503 – 0.676	15	Panchromatic
9.	1.363 – 1.384	30	Cirrus
10.	10.60 – 11.19	100	LWIR-1
11.	11.5 – 12.51	100	LWIR-2

Penelitian ini menggunakan data citra Landsat 9. Data tersebut merupakan data satelit yang dihasilkan oleh satelit Landsat 9 yang merupakan bagian dari program landsat yang dikelola oleh NASA dan USGS. Data yang digunakan dalam penelitian ini diakses dan diunduh dari platform online USGS Earth Explorer atau pada tautan <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Berdasarkan pada metadata citra tersebut, data diakuisisi pada tanggal 3 September 2024 pada path 111 dan row 66 dengan azimuth dan ketinggian matahari 60.91864452o dan

57.71859237o. Waktu akuisisi data citra pada pukul 1:52:22 hingga 1:52:53 siang hari dengan tutupan awan sebesar 3.7% (USGS, 2025).

Pemotongan (Cropping) Citra Landsat 9

Ketika memproses citra Landsat 9, yang memiliki cakupan area luas, langkah pemotongan (cropping) sangat penting. Tujuannya adalah memfokuskan data pada area studi spesifik. Hal ini memastikan bahwa data yang akan diolah untuk mendapatkan nilai Land Surface Temperature (LST) menjadi lebih relevan dan efisien.

Setelah melakukan proses Cropping, proses perhitungan data citra Landsat 9 selanjutnya melibatkan beberapa tahapan penting, diantaranya:

Perhitungan NDVI, PV, dan Emisivitas

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan ukuran (index) tingkat kehijauan (klorofil) dari vegetasi (Ramadhan & Saputra, 2021). Kalkulasi ini adalah proses yang mengaitkan parameter fisik tertentu dengan karakteristik fisik dari tutupan vegetasi di suatu permukaan (Pearson, 2006). NDVI ini perhitungan dilakukan dengan memanfaatkan data band Near Infrared (NIR) dan band red. Setelah mendapatkan hasil NDVI, selanjutnya dilakukan perhitungan Proportion of Vegetation (PV). Kalkulasi NDVI dilakukan dengan menggunakan persamaan 1

$$NDVI = \frac{Band5(NIR) - Band4(Re\ d)}{Band5(NIR) + Band4(Re\ d)} \quad (1)$$

Dalam penelitian Bunga Fathya et al., (2023) menurut Muslim, NDVImax merupakan nilai NDVI untuk vegetasi atau nilai paling besar dari hasil perhitungan NDVI dan NDVimin adalah nilai NDVI minimal yang dipergunakan untuk tanah atau nilai paling kecil dari hasil NDVI. Menurut Rouse J. dalam penelitian Clarissa et al., (2020), nilai indeks ini berkisar antara -1 sampai 1. Nilai 0.2 – 0.8 umumnya merupakan indeks vegetasi hijau.

Perhitungan nilai Proportion of Vegetation (PV) menggunakan persamaan 2.

$$PV = \frac{NDVI - NDVI_{Min}}{NDVI_{Max} - NDVI_{Min}} \quad (2)$$

Nilai PV yang didapatkan kemudian diperlukan dalam perhitungan nilai emisivitas (ϵ) yang berguna meminimalisir kesalahan dalam mengestimasi kondisi LST (Syawalina et al., 2022). Perhitungan nilai emisivitas menggunakan persamaan 3.

$$\epsilon = 0,004 * PV + 0,986 \quad (3)$$

Nilai 0.004 menunjukkan nilai rata-rata emisivitas berkategori rapat sedangkan nilai 0.986 merupakan nilai rata-rata emisivitas lahan terbuka. Nilai emisivitas digunakan untuk memperbaiki estimasi suhu permukaan agar lebih akurat.

Perhitungan TOA dan BT

Untuk mendapatkan nilai LST perlu dilakukan juga perhitungan top of atmosfer (TOA) yang bertujuan untuk mengonversi nilai digital (DN) mentah dari citra satelit menjadi nilai reflectance yang lebih akurat dan terstandarisasi, bebas dari pengaruh variasi iradiansi matahari dan perbedaan sensor. Perhitunagn nilai TOA menggunakan persamaan 4.

$$TOA_L = M_L * Q_{Cal} + A_L \quad (4)$$

Dengan TOAL merupakan spektral cahaya, ML merupakan faktor rescaling radiansi, QCal merupakan nilai pixel dalam Digital Number (DN), dan AL merupakan nilai penambahan radiansi. Setelah nilai DN dikonversi menjadi nilai radiance, maka nilai dari band TIRS

dikonversi menjadi nilai Brightness Temperature (BT) menggunakan nilai konstanta termal yang terdapat dalam metadata citra Landsat 9 (Tabel 3). Sensor TIRS pada Landsat 9 memiliki dua band thermal yaitu band 10 dan band 11. Dalam penentuan LST, band 10 lebih sesuai untuk digunakan dalam perhitungan dibandingkan dengan band 11, karena band 11 memiliki nilai ketidakpastian yang cukup besar (Bunga Fathya et al., 2023).

Tabel 3. Nilai Konstanta Pada Metadata Citra Landsat 9

Konstanta Termal	
K ₁	799,0284
K ₂	1329.2405
Faktor Rescalling Band 10	
M _L	0,0038
A _L	0,1

Koreksi BT sangat penting karena citra mencerminkan radiasi gelombang elektromagnetik dari suatu objek yang ditangkap oleh sensor satelit. Perhitungan nilai Brightness Temperature (BT) menggunakan persamaan 5

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda + 1}\right)} \tag{5}$$

BT merupakan nilai suhu kecerahan yang masih dalam satuan kelvin, dengan K1 dan K2 merupakan nilai konstanta konversi termal yang nilainya diperoleh dari metadata citra pada file dengan format *.txt sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Perhitungan Land Surface Temperature (LST)

Setelah melakukan lima tahapan di atas, tahap terakhir yaitu melakukan perhitungan Land Surface Temperature (LST). Perhitungan LST dengan menggunakan persamaan 6

$$\frac{BT}{1 + \left(\frac{\lambda BT}{hc}\right) \ln \varepsilon} \tag{6}$$

Dengan LST dalam derajat Celcius (OC), BT merupakan nilai Brightness Temperature, λ merupakan panjang gelombang radiance ($\lambda = 0.00115$), dan nilai hc/σ sebesar 1.4388.

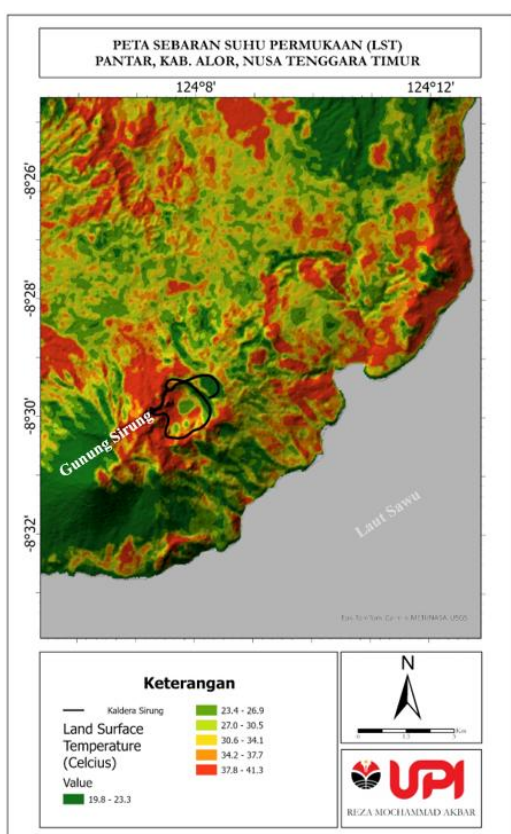
Penentuan Anomali Land Surface Temperature (LST)

Dalam proses pembuatan peta LST pada software ArcGIS Pro, data suhu permukaan dikelompokkan melalui metode classify. Tujuannya adalah untuk mengelompokkan nilai suhu sehingga lebih mudah di analisis dan divisualisasikan. Meskipun ArcGIS Pro memungkinkan penentuan jumlah kelas secara otomatis atau manual (Gorr & Kurland, 2020). Dalam pengelompokan data ini dipilih metode quantile yang bekerja dengan membagi rentang data sehingga setiap kelas memiliki jumlah data yang sama (bukan rentang nilai yang sama). Kelas terakhir, yang merepresentasikan suhu tertinggi, dianggap sebagai nilai anomali Land Surface Temperature (LST), atau lebih dikenal sebagai anomali suhu permukaan.

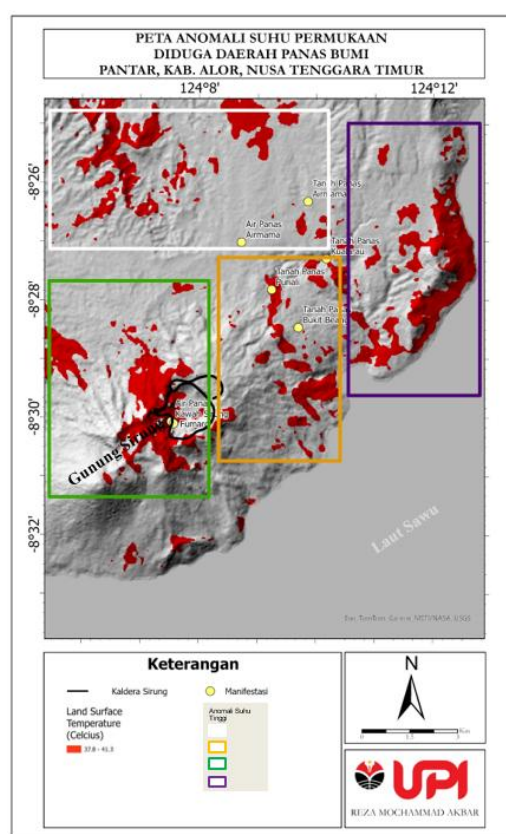
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan Land Surface Temperature (LST) yang diperoleh menggunakan citra Landsat 9 pada daerah penelitian divisualisasikan dalam bentuk peta (Gambar 5). Hasil LST pada daerah penelitian memiliki nilai maksimum sebesar 41.3°C dan nilai minimum 19.8°C , dengan perbedaan rentang suhu yang cukup lebar yaitu sebesar 21.5°C . Secara umum nilai yang memiliki suhu tinggi (diatas 37.8°C) terdapat pada bagian utara-timur laut dan timur-selatan.

Peta suhu permukaan ditampilkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Distribusi suhu permukaan dibagi menjadi empat daerah dengan indikasi anomali suhu tinggi. Masing-masing daerah tersebut ditandai menggunakan kotak berwarna putih, ungu, oranye, dan hijau. Kotak putih sebagai pembatas daerah I dan letaknya di bagian utara hingga timur. Pada daerah tersebut menunjukkan anomali suhu permukaan di sisi utara dan sedikit di bagian timur. Sementara itu, area dengan anomali suhu permukaan di sisi timur hingga selatan terbagi menjadi tiga daerah anomali yang masing-masing dibatasi oleh kotak. Kotak ungu untuk daerah II yang letaknya di bagian timur, di bagian tenggara terdapat kotak orange untuk batas daerah III, serta kotak hijau di bagian selatan untuk batas daerah IV.



Gambar 4. Peta Sebaran Land Surface Temperature

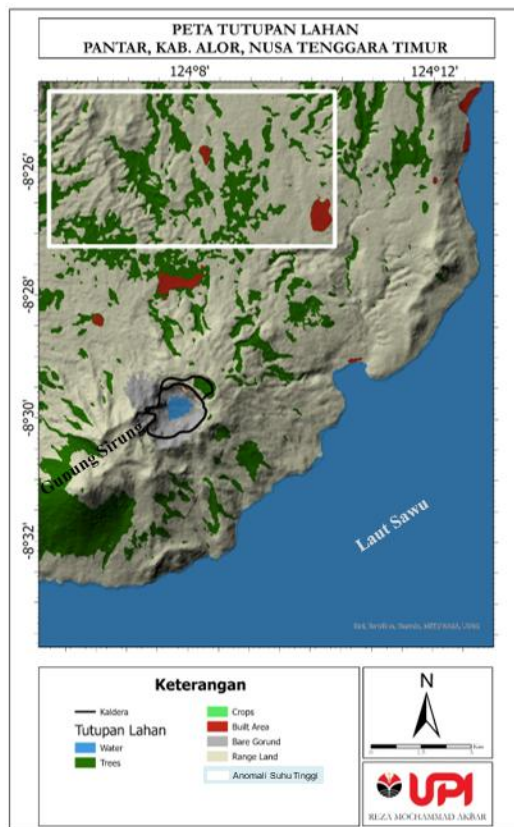


Gambar 5. Peta Anomali Suhu Permukaan

Kotak putih pada Gambar 6 menunjukkan adanya anomali suhu tinggi di wilayah utara, yang disebabkan oleh keberadaan pemukiman (Gambar 7). Area pemukiman ini, yang ditandai dengan warna merah, memiliki suhu permukaan yang lebih tinggi dari sekitarnya, sebuah fenomena yang dikenal sebagai Urban Heat Island (UHI) akibat aktivitas manusia, seperti dijelaskan oleh Bunga Fathya et al., (2023) dan Permana et al., (2021).

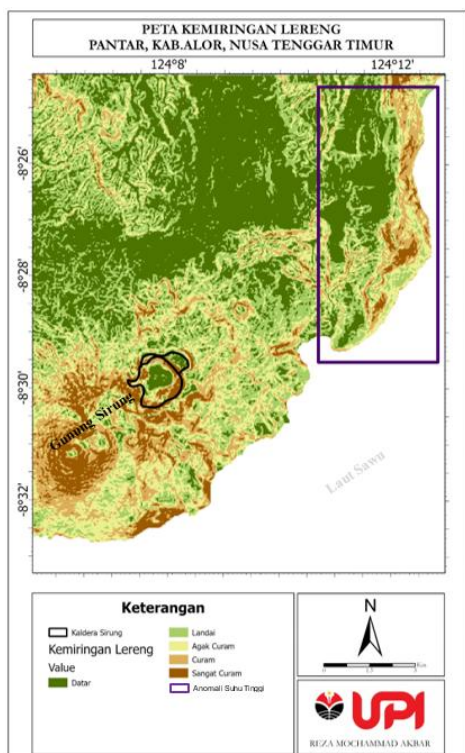
Sementara itu, di bagian timur (Gambar 6) teridentifikasi anomali suhu tinggi mencapai 41.3°C . Anomali ini berhubungan dengan manifestasi panas bumi seperti Tanah Panas

Airmama (suhu sekitar 30.6°C hingga 41.3°C) dan Air Panas Airmama (suhu sekitar 23.4°C hingga 26.9°C). Data dari Nurhadi & Kusnadi (2015) menunjukkan bahwa suhu tanah panas airmama berkisar antara 31.7°C hingga 93.3°C dan 31.5°C hingga 58.8°C , sedangkan suhu air panas airmama berkisar antara 31.5°C hingga 58.8°C . Oleh karena itu, anomali suhu yang terdeteksi di bagian timur kemungkinan besar berkaitan dengan keberadaan manifestasi panas bumi tersebut.

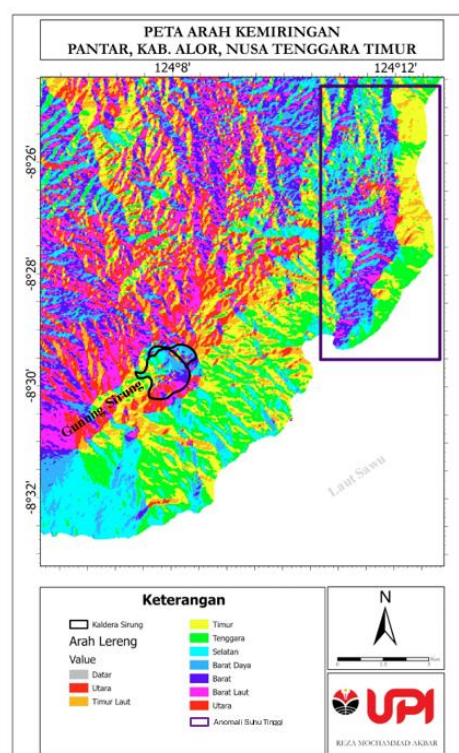


Gambar 6. Peta Tutupan Lahan

Kotak ungu pada Gambar 6 menunjukkan anomali suhu tinggi di bagian timur area penelitian. Anomali ini diduga kuat berasal dari karakteristik topografi wilayah tersebut, yakni dominasi lereng dengan kemiringan curam hingga sangat curam ($>45^{\circ}$) seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Selain itu, orientasi lereng yang sebagian besar menghadap ke timur (Gambar 9) menyebabkan wilayah ini menerima paparan sinar matahari langsung dalam durasi yang lebih panjang. Hal yang sama dinyatakan juga oleh Bunga Fathya et al., (2023) dengan menggunakan Landsat 8. Berdasarkan metadata citra, akuisisi data dilakukan saat matahari berada pada titik maksimal, mengakibatkan penyerapan radiasi yang maksimal dan pemantulan yang minimal, sehingga tercatat sebagai suhu tinggi.



Gambar 7. Peta Kemiringan Lereng



Gambar 8. Peta Arah Kemiringan Lereng

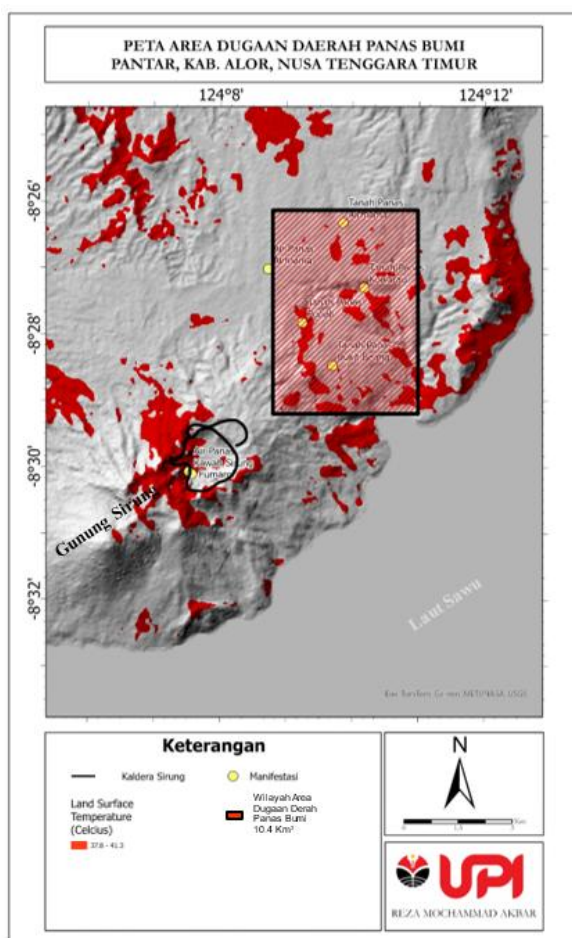
Di bagian tenggara daerah penelitian, yang ditunjukkan oleh kotak oranye pada Gambar 6, teridentifikasi anomali suhu permukaan yang berkisar antara 37.7°C hingga 41.3°C . Anomali suhu tinggi ini diduga kuat berkaitan dengan keberadaan manifestasi panas bumi seperti Tanah Panas Kualaru, Tanah Panas Bukit Beang, dan Tanah Panas Puriali. Data menunjukkan suhu manifestasi-manifestasi ini sangat bervariasi dan dapat mencapai 63.7°C hingga 101.0°C , 60.0°C hingga 93.5°C , serta 41.2°C hingga 97.1°C . Kehadiran tanah panas ini, yang memang merupakan indikator aktivitas panas bumi (Muslim, 2020), memperkuat dugaan bahwa anomali suhu di area ketiga ini berhubungan dengan manifestasi panas bumi tersebut.

Sementara itu, di bagian selatan area penelitian, kotak hijau pada Gambar 6 menyoroti suhu permukaan yang tinggi, juga berkisar antara 37.7°C hingga 41.3°C . Area ini sebagian besar merupakan lahan terbuka atau bare ground tanpa tutupan vegetasi (Gambar 7), yang cenderung memiliki kemampuan menyerap radiasi matahari lebih tinggi. Di lokasi ini juga ditemukan manifestasi Air Panas Kawah Sirung dengan suhu sekitar 31.5°C hingga 99.9°C (Gambar 6 dan Tabel 1), yang termasuk dalam kawasan Kawah dan Kaldera Sirung.

Penelitian sebelumnya oleh Rahadinata et al., (2019) mengindikasikan adanya fumarol dan solfatara. Hal ini konsisten dengan temuan dari penelitian Lestari & Jusfarida, (2021) yang secara eksplisit menyatakan bahwa manifestasi panas bumi dapat diidentifikasi melalui anomali suhu permukaan. Ketiadaan vegetasi berperan dalam meningkatkan suhu permukaan karena kurangnya efek peneduh dan rendahnya nilai albedo yang menyebabkan penyerapan radiasi matahari lebih banyak. Anomali suhu permukaan yang teramati di wilayah ini dapat secara kuat dikaitkan dengan keberadaan kawah itu sendiri, yang secara alami menciptakan kondisi lingkungan termal yang berbeda dari sekitarnya.

Penelitian terdahulu yang memanfaatkan citra Landsat 8 oleh Bunga Fathya et al. (2023) untuk menganalisis potensi panas bumi menunjukkan bahwa prospek utama berada di timur

laut Gunung Sirung. Dengan mempertimbangkan anomali suhu permukaan, manifestasi, faktor geologi, dan studi terdahulu, area yang ditunjukkan oleh kotak oranye pada Gambar 6 dinilai paling representatif sebagai wilayah panas bumi yang potensial untuk dieksplorasi dan dikembangkan di Pulau Pantar, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur. Peta area panas bumi Pantar (Gambar 10) mengonfirmasi bahwa zona indikatif ini berada di timur laut Gunung Sirung, meluas dari wilayah ketiga (kotak oranye) ke utara menuju Pintu Mas, berdekatan dengan manifestasi Air Panas dan Tanah Panas Airmama, serta meluas ke timur sekitar ± 1 km, mencakup total luas sekitar 10,4 km² dan mencakup beberapa manifestasi seperti Tanah Panas Bukit Beang dan Kualaru.



Gambar 9. Peta Area Dugaan Panas Bumi Pantar, Kab. Alor, Nusa Tenggara Timur)

SIMPULAN

Hasil analisis Land Surface Temperature (LST) mengidentifikasi zona dugaan panas bumi di timur laut Gunung Sirung. Kawasan ini menunjukkan anomali suhu permukaan yang signifikan, mengindikasikan adanya aktivitas panas bawah permukaan. Zona dugaan tersebut meluas hingga Pintu Mas, berdekatan dengan berbagai manifestasi termal seperti air panas dan tanah panas Airmama, serta membentang ke timur sejauh sekitar ± 1 km, mencakup total area seluas sekitar 10,4 km². Keberadaan manifestasi panas bumi lain seperti tanah panas Bukit Beang dan Kualaru di dalam area ini semakin menguatkan potensi geotermalnya.

Anomali suhu permukaan yang tinggi dapat timbul dari dua faktor utama, yakni aktivitas permukaan seperti pengaruh topografi yang meningkatkan paparan sinar matahari serta aktivitas antropogenik yang menciptakan Urban Heat Island (UHI) dan aktivitas termal bawah permukaan. Oleh karena itu, perlu di catat bahwa dalam eksplorasi panas bumi, anomali LST hanya diinterpretasikan sebagai indikator aktivitas termal bawah permukaan setelah pengaruh dari faktor-faktor permukaan telah dieliminasi.

Penelitian selanjutnya disarankan menggabungkan data Landsat-9 dengan citra resolusi spasial yang lebih tinggi untuk detail yang lebih baik. Selain itu, validasi suhu permukaan dengan pengukuran lapangan sangat penting dilakukan guna meningkatkan keakuratan hasil estimasi LST. Kemudian, disarankan sebagai verifikasi panas bumi digunakan metode ground survey seperti metode Magnetotellurik (MT) untuk melihat komponen sistem panas bumi dari model resistivitas. Sehingga, kombinasi pendekatan ini dapat menghasilkan pemahaman yang jauh lebih akurat, komprehensif, dan terverifikasi mengenai potensi dan karakteristik sistem panas bumi di bawah permukaan, mendukung perencanaan eksplorasi dan pengembangan yang lebih efektif.

ACKNOWLEDGMENT

Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing, rekan-rekan, keluarga, serta semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungannya selama penyelesaian penelitian ini.

REFERENCES

- Alhamri, R. Z., & Suryani, E. (2016). Kajian Potensi Energi Panas Bumi Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik Terbarukan: Sebuah Framework Sistem Dinamik. In *Sisfo* (Vol. 05, Issue 05, pp. 542–554). <https://doi.org/10.24089/j.sisfo.2016.03.006>
- Andini, D., Lepong, P., & Natalisanto, A. I. (2020). Identifikasi Kawasan Zona Panas Bumi (Geothermal) Di Daerah X Menggunakan Metode Magnetotellurik 1*. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 3(1), 1–8.
- Arafat, R. (2019). Model Konseptual Sistem Panasbumi Non-Vulkanik Di Lapangan “Tersier”, Sulawesi Barat, Menggunakan Metode Magnetotellurik. July 2019. <http://eprints.upnyk.ac.id/19716/%0Ahttp://eprints.upnyk.ac.id/19716/4/5>. DAFTAR ISI.pdf
- Augusty, D. G., Bagaskara, M. F., & Oktaviani, A. D. (2023). Analisis Potensi Panas Bumi Pada Daerah G. Karang, Banten, Menggunakan Metode Penginderaan Jauh. *JURNAL TEKNIK GEOLOGI : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 5(2), 15. <https://doi.org/10.30872/jtgeo.v5i2.5455>
- Bunga Fathya, A., Nugraha, H., Gusti Ranti, A., & Wahyuningsih, R. (2023). Analisis Anomali Land Surface Temperature Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi Gunung Sirung Di Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 18(1), 37–54. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v18i1.367>
- Clarissa, G. D., Bujung, C. A. N., & Silangen, P. M. (2020). Identifikasi Daerah Prospek Panas Bumi Berdasarkan Sebaran Temperatur Dan Stress Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8 Di Daerah Gunung Tampusu. *Jurnal FisTa: Fisika Dan Terapannya*, 1(2), 88–96. <https://doi.org/10.53682/fista.v1i2.96>
- Cumming, W., & Mackie, R. (2010). Resistivity Imaging of Geothermal Resources Using 1D, 2D and 3D MT Inversion and TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, April, 1–10.
- ESDM, K. E. dan S. D. M. (2025). Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/>



- Faridah, N. S. A., & Krisbiantoro, A. (2014). Analisis distribusi temperatur permukaan tanah wilayah potensi panas bumi menggunakan teknik penginderaan jauh di Gunung Lamongan, Tiris-Probolinggo, Jawa Timur. *Berkala Fisika*, 17(2), 67–72.
- Fildzah Hakim, A., Krismadiana, Sholihah, F., & Artikel, I. (2022). Indonesian Journal of Conservation. *Indonesian Journal of Conservation*, 2(11), 71–77. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i2.40599>
- Gemitzi, A., Dalampakis, P., & Falalakis, G. (2021). Detecting geothermal anomalies using Landsat 8 thermal infrared remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 96, 102283. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102283>
- Gorr, W. L., & Kurland, K. S. (2020). GIS tutorial For ArcGIS Desktop 10.8. ESRI Press.
- Hadi, M. N., & Kusnadi, D. (2016). Survei Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pulau Pantar, Kabupaten Alor, Nusa Tenggara Timur. 15(2), 1–23.
- Hashim, M., Pour, A. B., Shehu, K., & Bahru, J. (2017). Review of Geothermal Mapping Techniques Using. *Science World Journal*, 12(4), 72–82. www.scienceworldjournal.org
- Lestari, N. M. D. P., & Jusfarida. (2021). Pendugaan Manifestasi Panas Bumi Menggunakan Citra Landsat 8 Berdasarkan Analisis Kelurusan dan Suhu Permukaan Tanah (Studi Kasus: Arjuno-Welirang). In *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan* (Vol. 3, Issue 1, pp. 271–276).
- Marry, R. T., Armawi, A., Hadna, A. H., & Pitoyo, A. J. (2017). Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 23(2), 217–237.
- Muhammad, A. K., & Adhitia, I. (2021). Studi Potensi Panas Bumi Di Wilayah Kabupaten Bogor Ditinjau Dari Geologi Dan Geokimia. *Jurnal Teknik | Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK*, 22(1), 27–37. <https://doi.org/10.33751/teknik.v22i1.3733>
- NASA. (2013). Landsat 9. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
- Nurhadi, M., & Kusnadi, D. (2015). Survei Geologi Dan Geokimia Daerah Panas Bumi Pantar Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Prosiding Hasil Kegiatan Lapangan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun Anggaran 2015*.
- Pearson, C. (2006). On the Relation between Relations. 86–94. <https://doi.org/10.5840/cpsem20069>
- Permana, L. A., Nugraha, H. S., & Sukaesih. (2021). Analisis Citra Satelit Landsat 8 Dan Demnas Untuk Identifikasi Prospek Panas Bumi Di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(3), 166–184. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v16i3.322>
- Primastika, A. A., Fadrian, D. F., Zani, F. R., & Permana, N. R. (2023). Identification of Mount Sirung Geothermal Potential based on Land Surface Temperature and 3D Gravity Model. *Jurnal Geoecebes*, 7(2), 117–129. <https://doi.org/10.20956/geoecebes.v7i2.23759>
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., & Chai, L. (2011). Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis-A case study in Tengchong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(4), 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.02.005>
- Rahadinata, T., Takodama, I., & Zarkasyi, A. (2019). Penerapan Koreksi Topografi Pada Data Magnetotelurik Dan Analisis Data Gaya Berat Dalam Interpretasi Daerah Panas Bumi Pantar, Kabupaten Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 14(3), 156–168. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v14i3.290>
- Ramadhan, R. F., & Saputra, R. A. (2021). Identifikasi Area Prospek Panas Bumi Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM : Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 11(2), 37–50. <https://doi.org/10.37525/sp/2021-2/294>
- Sugiyono. (2014). Metode penelitian bisnis: pendekatan kuantitatif, kualitatif, kombinasi, dan R&D.
- Syawalina, R. K., Ratihmanjari, F., & Saputra, R. A. (2022). Identification of The Relationship Between LST And NDVI On Geothermal Manifestations In A Preliminary Study Of Geothermal Exploration Using Landsat 8 OLI/TIRS Imagery Data Capabilities: Case Study Of Toro, Central Sulawesi. *PROCEEDINGS, 47th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, 1–8.

- Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., & Koike, K. (2015). Combination of well-logging temperature and thermal remote sensing for characterization of geothermal resources in Hokkaido, northern Japan. *Remote Sensing*, 7(3), 2647–2667. <https://doi.org/10.3390/rs70302647>
- USGS. (2025). Earth Explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Yatimas Murni, L., Yuliara, I. M., & Windaryoto, W. (2021). Distribusi Land Surface Temperature (LST) Menggunakan Metode Spasial Berdasarkan Citra Landsat 8 di Kabupaten Manggarai Nusa Tenggara Timur Pada Periode Juni-Juli 2015-2019. *Buletin Fisika*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.24843/bf.2023.v24.i01.p01>.

