

Analisis Spasial dan Temporal Temperatur Permukaan Gunung Api Ruang Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Tirs

Believe Vidnel Rampi^{1)*}, Cyrke Adfie Netty Bujung²⁾ , Alfrie Musa Rampengan¹⁾ 

¹Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

²Program Studi Geofisika, Universitas Negeri Manado, Kabupaten Minahasa, 95618, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: rampibelieve096@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 26 April 2026

Direvisi : 29 April 2026

Disetujui: 30 April 2026

Kata Kunci:

Energi;
Penginderaan jauh;
Gunung Api Ruang;
Temperatur permukaan;
Arah aliran panas.

Keywords:

Energy;
Remote sensing;
Mount Ruang;
Surface temperature;
Heat flow direction.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang paling banyak memiliki gunung. Jumlah gunung api yang ada di Indonesia sekitar 500 buah. 129 di antaranya merupakan gunung api aktif. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran temperatur dan mengetahui arah aliran panas permukaan Gunung Api Ruang sebelum erupsi. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis secara temporal sebaran temperatur di Gunung Api Ruang untuk memprediksikan ke mana arah bukaan struktur geologi di daerah tersebut menggunakan metode penginderaan jauh. Analisis dilakukan secara temporal menggunakan data citra band 10 inframerah termal untuk mengetahui arah aliran panas menurut peta sebaran yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan temperatur permukaan pada tahun 2024 serta pola sebaran yang mengindikasikan arah aliran panas ke arah timur laut di Gunung Api Ruang sebelum erupsi. Temuan ini menunjukkan bahwa analisis temperatur permukaan berbasis citra Landsat 8 TIRS dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam mengidentifikasi dinamika aktivitas vulkanik dan arah aliran panas di daerah gunung api.

ABSTRACT

Indonesia is a country with a large number of volcanoes, with approximately 500 volcanoes, of which 129 are classified as active. This study aims to map the distribution of surface temperature and determine the direction of heat flow of Mount Ruang prior to eruption. The analysis was conducted using a spatial and temporal approach based on Landsat 8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) band 10 imagery. Data processing included the conversion of digital number values into spectral radiance, followed by the conversion into satellite temperature and emissivity correction to obtain land surface temperature. The results indicate an increase in surface temperature in 2024 compared to previous years, along with a relatively consistent distribution pattern accompanied by a shift in high-temperature areas. This pattern suggests that the heat flow direction originates from the northeast toward the crater of Mount Ruang prior to eruption. These findings demonstrate that surface temperature analysis based on Landsat 8 TIRS imagery can be used as a preliminary approach to identify heat flow patterns and detect potential increases in volcanic activity.

PENDAHULUAN

Gunung api merupakan sistem geologi aktif yang memiliki karakteristik termal dinamis akibat aktivitas magma dan fluida panas di bawah permukaan. Perubahan temperatur permukaan pada daerah gunung api dapat menjadi indikator penting dalam mengidentifikasi peningkatan aktivitas vulkanik sebelum terjadinya erupsi ([Umniyyah et al., 2026](#)). Oleh karena itu, pemantauan temperatur permukaan

secara spasial dan temporal menjadi salah satu pendekatan yang penting dalam mitigasi bencana vulkanik ([Suwarsono et al., 2015](#)).

Citra satelit Landsat 8, khususnya sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), banyak digunakan untuk memperoleh informasi temperatur permukaan (*Land Surface Temperature/LST*). Data ini dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi anomali panas yang berkaitan dengan aktivitas geothermal maupun vulkanik ([Akhyar & Sary, 2024](#)). Analisis LST berbasis penginderaan jauh telah terbukti efektif dalam mendeteksi potensi panas bumi serta perubahan aktivitas termal suatu wilayah ([Khairunnisa & Namigo, 2026](#); [Mardiati et al., 2025](#)). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa anomali temperatur permukaan dapat digunakan sebagai indikator awal aktivitas geologi bawah permukaan ([Chao et al., 2022](#); [Mukti et al., 2022](#)).

Gunung Api Ruang merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia yang mengalami peningkatan aktivitas hingga terjadi erupsi pada tahun 2024. Namun, kajian yang mengintegrasikan analisis spasial dan temporal temperatur permukaan untuk mengidentifikasi arah aliran panas serta keterkaitannya dengan struktur geologi masih terbatas, khususnya pada Gunung Api Ruang. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada identifikasi anomali temperatur tanpa mengkaji pola aliran panas dan dinamika struktur geologi secara komprehensif.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran temperatur permukaan secara spasial dan temporal menggunakan citra Landsat 8 TIRS serta menentukan arah aliran panas di Gunung Api Ruang sebelum erupsi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemanfaatan data penginderaan jauh sebagai metode awal dalam monitoring aktivitas vulkanik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Gunung Api Ruang dan sekitarnya yang secara geografis terletak pada posisi koordinat $2^{\circ}19'18,30''$ LU dan $125^{\circ}24'30,42''$ BT, dan secara administratif terletak di Desa Tulusan, Kecamatan Tagulandang Kabupaten Sitaro, Sulawesi Utara dengan ketinggian 725 MDPL. Gunung Api Ruang berada pada sebuah pulau yang terpisah dari pulau lainnya.

Teknik penelitian untuk pengumpulan data dan analisis data yaitu pertama adalah studi literatur dimana akan mempelajari tentang metode penginderaan jauh. Kemudian akan mengumpulkan data, dimana data yang dikumpulkan berupa data citra *landsat 8 TIRS* tahun 2015, 2019 dan 2024. Setelah data terkumpul, dilanjutkan dengan pengolahan data citra tersebut, masing – masing tahun dan hanya *band thermal* yaitu *band 10*. Setelah pengolahan data citra masing-masing tahun selesai akan mendapat hasil peta sebaran temperatur daerah Gunung Api Ruang dan sekitarnya. Menganalisis secara temporal peta sebaran temperatur tersebut kita dapat melihat bagaimana perubahan temperatur daerah Gunung Api Ruang dan sekitarnya di tiap tahunnya. Menganalisis secara temporal bagaimana arah bukaan struktur geologi daerah tersebut menurut peta sebaran yang dihasilkan, kita dapat melihat kemana arah bukaan struktur geologi di daerah tersebut. Kemudian selanjutnya kita dapat memprediksikan kemana arah bukaan struktur geologi daerah Gunung Api Ruang dan sekitarnya.

Dalam penelitian ini yang digunakan hanya data Citra *band 10* Inframerah *thermal*. Data citra tahun 2015,2019,2024 diimpor ke *software* ILWIS 3.8.5. Kemudian dilakukan koreksi yaitu geometrik dan radiometrik. Setelah terkoreksi langkah selanjutnya yang kita lakukan adalah *resampling*, yaitu tahap untuk membatasi wilayah kajian, dalam hal ini hanya daerah Gunung Api Ruang dan sekitarnya. Langkah selanjutnya adalah mengonversi *resampling* ke radiansi spektral menggunakan Persamaan 1.

$$L=L_{\max}-L_{\min}Q_{\text{calmax}}-Q_{\text{calmin}}(DN-Q_{\text{calmin}})+L_{\min} \quad (1)$$

dimana citra yang telah dikonversi ke radiansi spektral dikonversi lagi ke temperatur satelit menggunakan Persamaan 2.

$$T_s=K_2\ln(K_1L+1) \quad (2)$$

Selanjutnya peta temperatur yang dihasilkan dikoreksi tingkat emisivitasnya sehingga terbentuk lagi peta temperatur baru menggunakan Persamaan 3.

$$T_p=T_s(\varepsilon_{14}) \quad (3)$$

Temperatur permukaan yang dihasilkan berada pada satuan derajat Kelvin, kemudian dari satuan derajat Kelvin dikonversi lagi ke satuan Celsius menggunakan Persamaan 4.

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = T_p - 273 \quad (4)$$

Seluruh proses konversi, mulai dari radiansi spektral, temperatur satelit, hingga koreksi emisivitas, mengacu pada persamaan yang terdapat dalam Landsat 8 *Data Users Handbook* 2019. Analisis dilakukan secara spasial dan temporal untuk mengidentifikasi pola sebaran temperatur permukaan serta menentukan arah aliran panas berdasarkan distribusi nilai temperatur pada setiap periode pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peneliti menggunakan data citra satelit tahun 2015, 2019 dan 2024. Tahun 2015 Gunung Api Ruang berada dalam status waspada (level 2), tahun 2019 untuk menjadi pembanding karena di tahun 2019 Gunung Api Ruang tidak dalam status waspada sedangkan di tahun 2024 Gunung Api Ruang mengalami erupsi dan letusan yang dahsyat. Kondisi Gunung Api Ruang sebelum erupsi ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gunung Api Ruang saat erupsi tahun 2024 ditunjukkan pada Gambar 2.

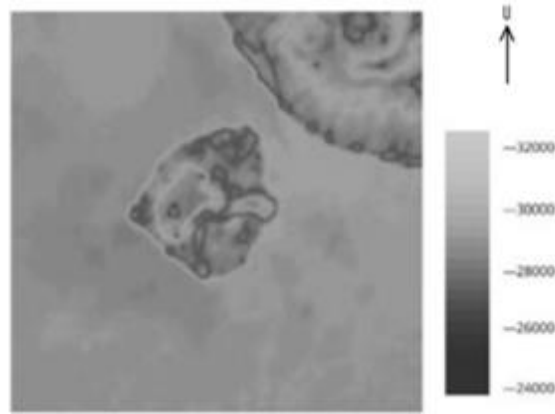


Gambar 1. Gunung Api Ruang sebelum erupsi

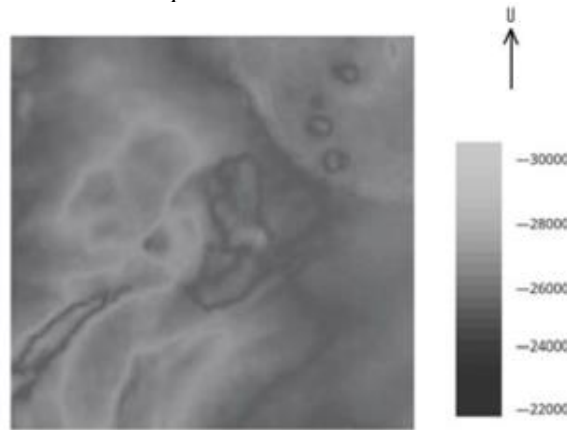


Gambar 2. Gunung Api Ruang saat erupsi 2024

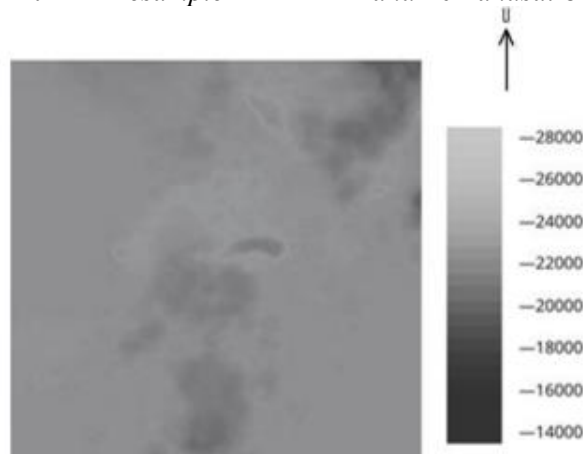
Proses *resample* citra Landsat 8 dilakukan untuk membatasi daerah kajian. Daerah kajian Gunung Api Ruang akan diresample dengan koordinat $X_{\max} = 772178.8$ $Y_{\max} = 261441.6$ $X_{\min} = 755301.3$ $Y_{\min} = 254825.2$ Hasil *resample* citra Landsat 8 tahun 2015, 2019 dan 2024 ditunjukkan dengan representasi abu-abu, seperti terlihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Hasil *resample* Data citra Band 10 Landsat 8 tahun 2015



Gambar 4. Hasil *resample* Data citra Band 10 Landsat 8 tahun 2019

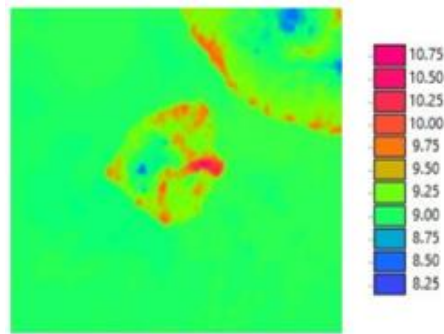


Gambar 5. Hasil *resample* Data citra Band 10 Landsat 8 tahun 2024

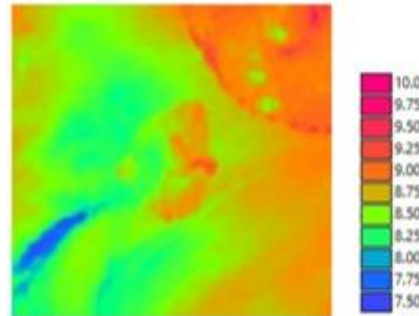
Pada ketiga peta *resample* di atas, setiap warnanya memiliki nilai digital sesuai yang tampak pada citra, nilai tersebut disebut dengan *digital number*. Nilai tersebut dikonversi ke nilai radiansi spektral dengan menggunakan Persamaan 5.

$$L = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{caalmax} - Q_{calmin}} (DN - Q_{calmin}) + L_{min} \quad (5)$$

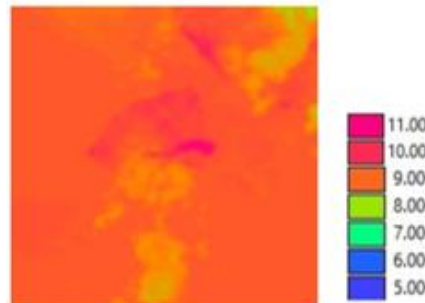
Hasil konversi tersebut ditunjukkan pada Gambar 6, 7, dan 8 yang ditampilkan dengan representasi *pseudo*.



Gambar 6. Hasil Konversi band 10 (tahun 2015) ke nilai Radiansi Spektral.



Gambar 7. Hasil Konversi band 10 (tahun 2019) ke nilai Radiansi Spektral.

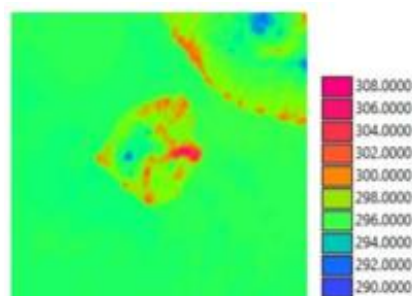


Gambar 8. Hasil Konversi band 10 (tahun 2024) ke nilai Radiansi Spektral.

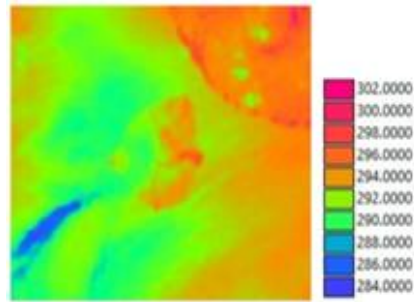
Nilai radiansi spektral yang telah didapat sebagaimana pada ketiga peta di atas dikonversi ke nilai temperatur satelit. Nilai tersebut belum terkalibrasi dengan faktor atmosfer, sehingga nilai satelit belum dapat mewakili nilai temperatur permukaan. Konversi ini dilakukan untuk mendapatkan nilai temperatur permukaan. Konversi ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan 6.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad (6)$$

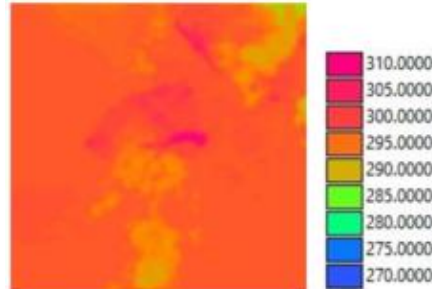
Hasil konversi ditunjukkan pada Gambar 9,10, dan 11 yang ditampilkan dengan representasi *pseudo*.



Gambar 9. Hasil konversi nilai radiansi spektral ke nilai temperatur satelit (2015)



Gambar 10. Hasil konversi nilai radiansi spektral ke nilai temperatur satelit (2019)



Gambar 11. Hasil konversi nilai radiansi spektral ke nilai temperatur satelit (2024)

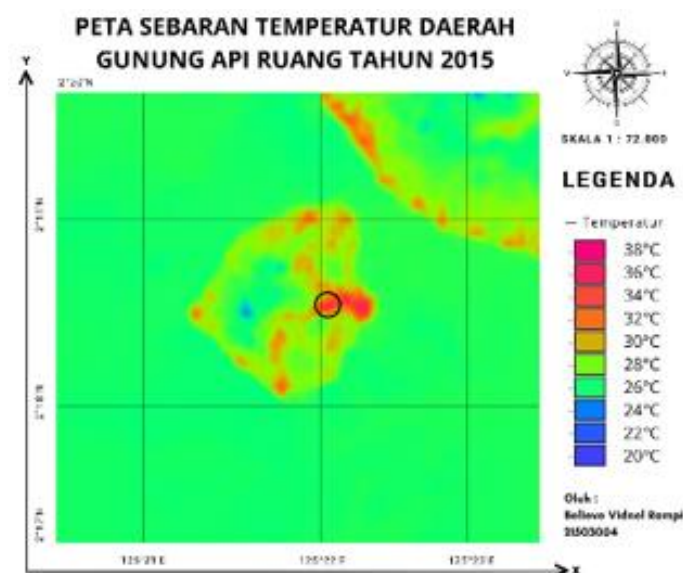
Nilai temperatur satelit pada ketiga peta di atas belum terkalibrasi dengan faktor atmosfer, maka dilakukan koreksi emisivitas menggunakan Persamaan 3 ([Landsat 8 \(L8\) Data Users Handbook, 2019](#)).

$$T_p = T_s \left(\frac{1}{\varepsilon^4} \right) \quad (7)$$

Temperatur permukaan yang dihasilkan berada pada satuan derajat Kelvin, untuk itu disubstitusikan ke Persamaan 4 untuk mendapatkan nilai temperatur permukaan dengan satuan derajat Celsius.

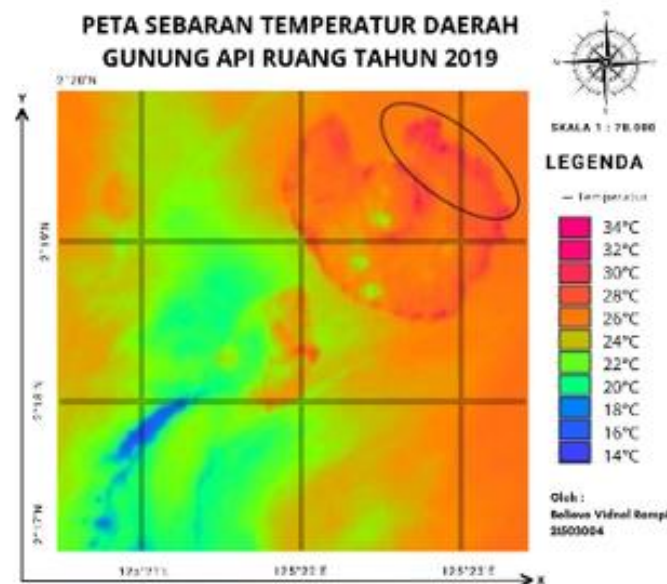
$$T_p(^{\circ}\text{C}) = T_p - 273 \quad (8)$$

Hasilnya ditunjukkan dengan representasi *pseudo* pada Gambar 12, 13, dan 14.



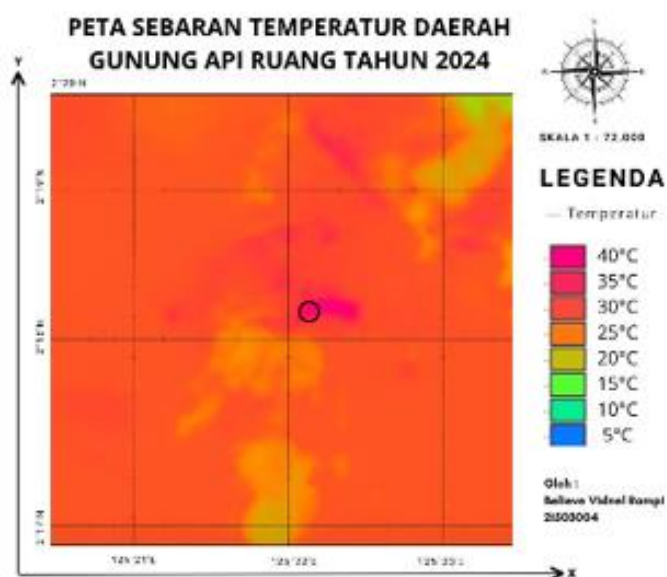
Gambar 12. Peta Sebaran Temperatur Permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2015

Temperatur permukaan tertinggi adalah 38°C yang terdapat pada titik 764950.6 , 255110.6 dan atau dengan koordinat $2^{\circ}18'21.77''\text{N}$, $125^{\circ}22'56.18''\text{E}$. Diperkirakan pada tahun 2015 arah aliran panas muncul dari bagian timur. Ditandai dengan warna merah muda. Semakin rendah temperatur warna semakin mendekati warna biru.



Gambar 13. Peta Sebaran Temperatur Permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2019

Temperatur permukaan Gunung Api Ruang pada tahun 2019 mengalami penurunan dikarenakan pada tahun 2019 kondisi Gunung Api Ruang tidak berada pada kondisi siaga atau dalam keadaan normal. Temperatur tertinggi adalah 34°C . Letak temperatur permukaan tertinggi juga sudah bergeser dari posisi yang ada di tahun 2015, Yang sebelumnya dari bagian timur berpindah di bagian timur laut, yang terdapat pada titik 767068.8, 258476.3 dan atau dengan koordinat $2^{\circ}20'11.81''\text{N}$, $125^{\circ}24'04.89''\text{E}$. Hal ini mendukung adanya arah aliran panas dari bagian timur dan timur laut.



Gambar 14. Peta Sebaran Temperatur Permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2024

Peningkatan temperature permukaan kembali terjadi di tahun 2024 dimana mencapai 40°C . dilihat dari posisi juga mengalami pergeseran dari posisi di tahun 2015 maupun 2019, yang terdapat pada titik 763235.5, 256839.9 dan atau dengan koordinat $2^{\circ}19'18.14''\text{N}$, $125^{\circ}22'00.79''\text{E}$. Selain itu, daerah

berwarna merah muda dan *orange* yang menandakan daerah dengan temperatur permukaan yang cukup tinggi, sudah lebih luas dari yang ada di tahun 2015 dan 2019. Pola ini mengindikasikan adanya peningkatan aktivitas vulkanik yang berkaitan dengan pergerakan fluida panas melalui struktur geologi di sekitar kawah.

Fenomena peningkatan temperatur permukaan serta perluasan area anomali termal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa anomali temperatur permukaan dapat digunakan sebagai indikator awal peningkatan aktivitas vulkanik dan sistem panas bumi (Chao et al., 2022; Mukti et al., 2022; Soszynska et al., 2024). Peningkatan tersebut umumnya berkaitan dengan migrasi fluida panas atau magma menuju permukaan yang menyebabkan distribusi temperatur menjadi lebih luas dan intens.

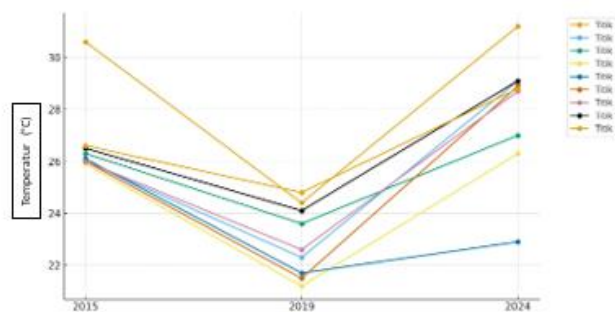
Arah Aliran Panas Gunung Api Ruang

Nilai temperatur permukaan Gunung Api Ruang secara temporal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel nilai temperature permukaan Gunung Api Ruang secara temporal

Titik	Radius Dari Puncak	Kooordinat		Temperatur		
		X	Y	2015	2019	2024
1	0 km	125°22'28.08"E	2°18'13.39"N	30,6°C	24,4°C	31,2°C
2	3,15 km	125°22'33.78"E	2°19'34.15"N	26°C	22,3°C	29,1°C
3	7,40 km	125°22'35.68"E	2°20'04.97"N	26,3°C	23,6°C	27°C
4	2,77 km	125°22'32.83"E	2°17'09.52"N	25,9°C	21,2°C	26,3°C
5	4,17 km	125°22'34.26"E	2°16'43.91"N	26,1°C	21,7°C	22,9°C
6	3,61 km	125°21'10.32"E	2°18'16.85"N	26°C	21,5°C	28,7°C
7	5,45 km	125°20'38.08"E	2°18'16.85"N	26°C	22,6°C	28,7°C
8	3,63 km	125°23'46.33"E	2°18'18.28"N	26,5°C	24,1°C	29,1°C
9	5,57 km	125°24'21.90"E	2°18'18.28"N	26,6°C	24,8°C	28,8°C

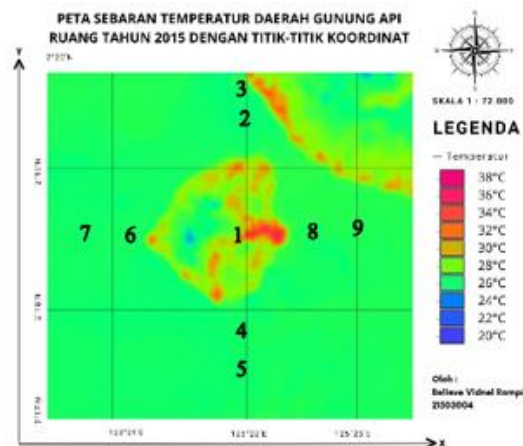
Tabel 1 menunjukkan peningkatan nilai temperatur permukaan di daerah Gunung Api Ruang secara temporal dengan 4 titik koordinat yang mengalami peningkatan temperatur permukaan yaitu titik 2, 3, 8, dan 9 dapat dilihat pada Gambar 15.



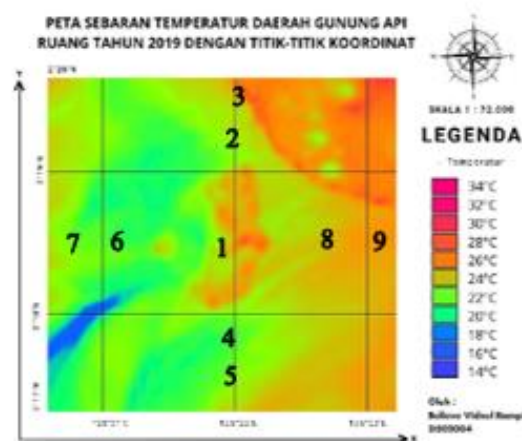
Gambar 15. Nilai temperatur permukaan manifestasi secara temporal

Gambar 15 tersebut menunjukkan bahwa tidak ada peningkatan temperatur secara signifikan. Pada Tabel 1 tampak bahwa setiap tahun terjadi perubahan temperatur permukaan, terutama pada titik koordinat 2 (biru muda), 3 (hijau), 8 (hitam) dan 9 (*orange*). Hal ini dapat menjadi patokan arah aliran panas bumi di daerah tersebut, di mana dengan melihat peta arahnya dari titik koordinat 2 (biru muda),

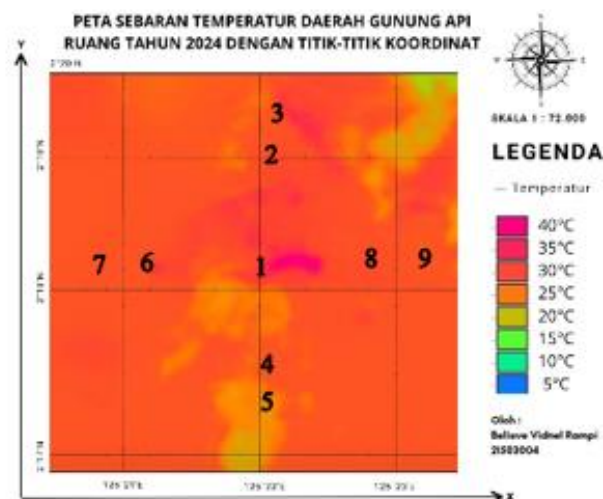
3 (hijau), 8 (hitam) dan 9 (orange) ke titik koordinat 1 (puncak), adalah dari arah timur laut (*north east*). Dapat dilihat pada Gambar 16, 17, dan 18 di mana setiap tahun temperatur di titik 2 (biru muda), 3 (hijau), 8 (hitam), dan 9 (orange), memiliki temperatur yang tinggi.



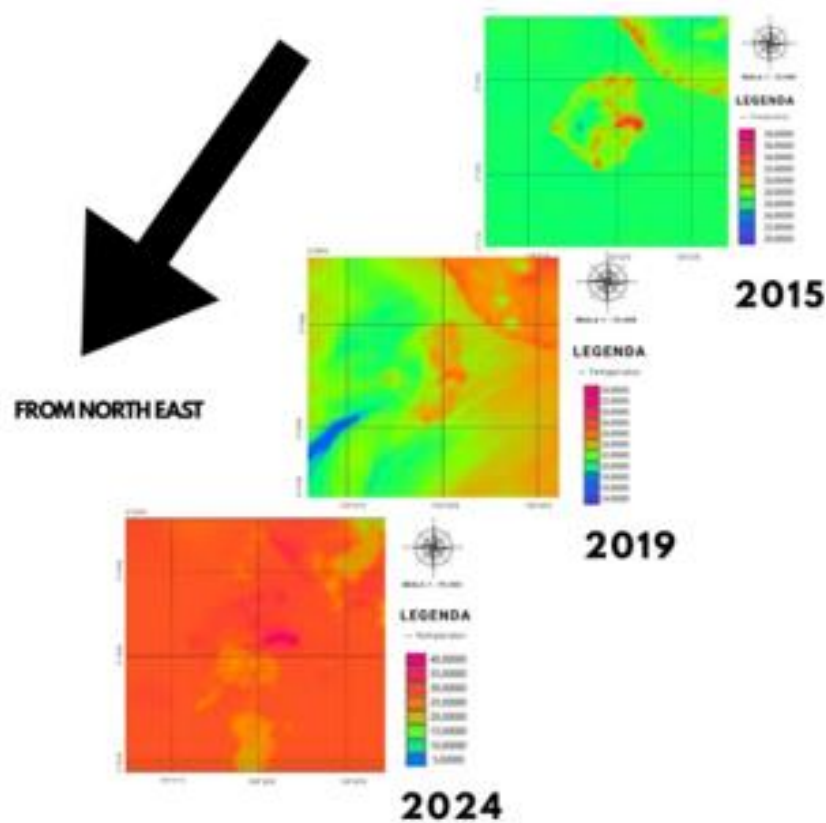
Gambar 16. Peta sebaran temperatur permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2015 dengan titik-titik koordinat.



Gambar 17. Peta Sebaran Temperatur Permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2019 dengan titik-titik koordinat.



Gambar 18. Peta Sebaran Temperatur Permukaan daerah Gunung Api Ruang tahun 2024 dengan titik-titik koordinat.



Gambar 19. Perkiraan arah aliran panas bumi daerah Gunung Api Ruang.

Berdasarkan Gambar 19 yang menunjukkan hubungan antara temperatur permukaan dan radius dari pusat kawah pada tahun 2015, 2019, dan 2024, terlihat adanya variasi temperatur yang signifikan secara temporal. Pada tahun 2015, temperatur permukaan relatif stabil pada kisaran 26 °C, dengan nilai maksimum sebesar 30,6 °C yang terpusat di area kawah (radius 0 km).

Pada tahun 2019, terjadi penurunan temperatur secara menyeluruh di seluruh titik pengamatan dengan kisaran antara 21–24 °C, yang menunjukkan kondisi termal yang relatif stabil. Penurunan ini mengindikasikan bahwa aktivitas vulkanik pada periode tersebut berada dalam fase rendah atau tidak aktif secara signifikan.

Sebaliknya, pada tahun 2024 terjadi peningkatan temperatur yang cukup signifikan, dengan temperatur maksimum di pusat kawah mencapai 31,2 °C dan sebagian besar titik lainnya berada pada kisaran 28–29 °C. Pola ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas termal yang berkaitan dengan proses pemanasan bawah permukaan.

Secara umum, pola temporal yang terbentuk menunjukkan kecenderungan penurunan temperatur pada tahun 2019 yang kemudian diikuti oleh peningkatan kembali pada tahun 2024. Fenomena ini mencerminkan dinamika sistem panas bumi yang dikontrol oleh aktivitas magmatik di bawah permukaan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa fluktuasi temperatur permukaan dapat mencerminkan perubahan aktivitas geotermal dan vulkanik, di mana peningkatan temperatur sering dikaitkan dengan migrasi fluida panas atau magma menuju permukaan ([García-Martínez et al., 2025](#); [Napoli et al., 2020](#); [Yáñez-Dávila et al., 2024](#)). Oleh karena itu, peningkatan temperatur yang signifikan pada tahun 2024 dapat diinterpretasikan sebagai indikasi awal peningkatan aktivitas vulkanik sebelum terjadinya erupsi.

KESIMPULAN

Peta sebaran temperatur permukaan Gunung Api Ruang pada periode sebelum erupsi tahun 2015, 2019, dan 2024 menunjukkan pola spasial yang relatif konsisten, yang mencerminkan pengaruh kondisi

geologi dan struktur bawah permukaan yang cenderung stabil dalam jangka panjang. Namun demikian, terjadi peningkatan temperatur permukaan yang signifikan pada tahun 2024 serta pergeseran distribusi area temperatur tinggi.

Berdasarkan analisis spasial, arah aliran panas diinterpretasikan berasal dari timur laut menuju pusat kawah. Pola ini mengindikasikan adanya kontrol struktur geologi terhadap pergerakan fluida panas di bawah permukaan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis temperatur permukaan berbasis citra Landsat 8 TIRS dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam mengidentifikasi pola aliran panas serta mendeteksi potensi peningkatan aktivitas vulkanik sebelum erupsi. Oleh karena itu, metode ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bagian dari sistem monitoring dini aktivitas gunung api berbasis penginderaan jauh.

REFERENSI

- Akhyar, & Sary, C. A. (2024). Identification of geothermal potential zone associated with land surface temperature derived from Landsat 8 data using split-window algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*, 22(1), 125–137. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2024.22.1.2091>
- Chao, J., Zhao, Z., Lai, Z., Xu, S., Liu, J., Li, Z., Zhang, X., Chen, Q., Yang, H., & Zhao, X. (2022). Detecting geothermal anomalies using Landsat 8 thermal infrared remote sensing data in the Ruili Basin, Southwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 32065–32082. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24417-3>
- García-Martínez, N., Girona, T., & Benavente, D. (2025). On Steam-Driven Thermal Anomalies at Active Volcanoes Through Laboratory and Numerical Experiments. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 130(9). <https://doi.org/10.1029/2025JB031598>
- Khairunnisa, & Namigo, E. L. (2026). Pemetaan Potensi Panas Bumi Menggunakan Penginderaan Jauh dan Analisis Multikriteria Berbasis AHP di Surian, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 15(1), 110–116. <https://doi.org/10.25077/jfu.15.1.110-116.2026>
- Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. (2019).
- Mardiati, D., Rachman, M. G., Adha, I., Utama, P. P., Kurniawan, O., & Krisnabudhi, A. (2025). Pemantauan Suhu Puncak Gunung Merapi menggunakan Land Surface Temperature (LST) Citra Landsat Tahun 2020-2025 untuk Analisis Aktivitas Vulkanik. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 5(1), 35–43. <https://doi.org/10.31315/imagi.v5i1.14886>
- Mukti, M., Tomaszewska, B., Starczewska, M., & Ningrum, E. O. (2022). Geological and environmental implications of the utilisation of geothermal energy in the Lahendong working area, Indonesia. *Geology, Geophysics and Environment*, 48(1), 69–82. <https://doi.org/10.7494/geol.2022.48.1.69>
- Napoli, R., Currenti, G., Giammanco, S., Greco, F., & Maucourant, S. (2020). Imaging the Salinelle Mud Volcanoes (Sicily, Italy) using integrated geophysical and geochemical surveys. *Annals of Geophysics*, 63(4), PE442. <https://doi.org/10.4401/ag-8215>
- Soszynska, A., Groen, T., Bonyo, E., van der Werff, H., Hewson, R., Reeves, R., & Hecker, C. (2024). Detection of Land Surface Temperature anomalies using ECOSTRESS in Olkaria geothermal field. *Remote Sensing of Environment*, 305, 114103. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114103>
- Suwarsono, S., Hidayat, H., Suprpto, T., Yulianto, F., Sari, N. M., Parwati, P., & Asriningrum, W. (2015). DETEKSI GEJALA ERUPSI STROMBOLIAN GUNUNGAPE RAUNG JAWA TIMUR MENGGUNAKAN NORMALIZED THERMAL INDEX DARI DATA MODIS. *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 12(2), 133–145. <https://doi.org/10.30536/inderaja.v12i2.3315>
- Umniyyah, U., Arini, D., Fajrin, & Driptufany, D. M. (2026). Pemetaan Deformasi Gunung Api Menggunakan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR). *Jurnal Sains Dan Ilmu Terapan*, 9, 67–76. <https://doi.org/10.59061/jsit.v9i1.1362>
- Yáñez-Dávila, D., Santoyo, E., González-Partida, E., Pandarinath, K., Santos-Raga, G., Mishra, S., & Gómez-Salgado, Z. G. (2024). Hydrothermal Signatures Discovered in Outcropping Rocks of the Los Hornos Geothermal Field (Mexico): A Geochemometric Exploration Case Study. *Geofluids*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/2316078>