



## **Penggunaan Citra Landsat untuk Pendeteksian Anomali Suhu Permukaan Sebagai Indikasi Keberadaan Manifestasi Panas Bumi. Studi Kasus: Sipoholon, Indonesia**

### ***Use of Landsat for Detection of Surface Temperature Anomalies as an Indication of the Presence of Geothermal Manifestations. Case Study: Sipohon, Indonesia.***

**Dani Mardiati<sup>1\*</sup>, Peter Pratistha Utama<sup>2</sup>, dan Dessy Apriyanti<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. Padjajaran (Lingkar Utara) Condongcatur, Yogyakarta 55283

<sup>3</sup>Teknik Gematika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari No. 2, Yogyakarta 55283

\*Corresponding Author: dani.mardiati@upnyk.ac.id

**Kata kunci:** Citra Landsat, Land Surface Temperature (LST), Manifestasi Panas Bumi

**Abstrak:** Sipoholon merupakan sebuah kecamatan yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara yang dilewati oleh Sistem Sesar Sumatera. Berdasarkan peta Geologi Lembar Sidikalang, ditemukan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas (hot spring) di daerah tersebut. Keberadaan manifestasi ini menunjukkan adanya sistem panas bumi yang bekerja di bawahnya. Keberadaan manifestasi panas bumi di suatu daerah akan berpengaruh terhadap suhu permukaan tanah di daerah tersebut. Pendeteksian anomali suhu permukaan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satu metode yang mudah untuk dilakukan yaitu menggunakan Citra Penginderaan Jauh. Citra Landsat merupakan salah satu citra penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk mendeteksi anomali suhu permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi anomali suhu permukaan sebagai indikasi adanya manifestasi panas bumi di Sipoholon, Sumatera Utara menggunakan Citra Landsat. Band 10 dan band 11 yang merupakan thermal infrared (TIR) diolah untuk mendapatkan suhu kecerahan (brightness temperature). Band 4 dan 5 digunakan untuk menghitung kerapatan vegetasi (NDVI) dan emisivitas suhu permukaan. Gabungan dari band 10, band 11 dan NDVI digunakan untuk menghitung nilai suhu permukaan tanah (Land Surface Temperature). Data lapangan berupa suhu mata air panas dan suhu permukaan tanah diambil untuk melakukan verifikasi terhadap analisis citra yang telah dilakukan. Hasil analisis citra menunjukkan bahwa suhu permukaan di lokasi penelitian berkisar antara 16,7°C sampai dengan 28,4°C. Anomali suhu tinggi berada di daerah yang dilewati oleh sesar Sumatera. Hasil verifikasi di lapangan menunjukkan hasil yang selaras, terdapat mata air panas di daerah yang dilewati oleh sesar Sumatera dengan suhu 35,7 °C – 64,4°C. Sedangkan suhu permukaan tanah berkisar antara 31,3°C – 48,7°C. Hal ini menunjukkan bahwa citra landsat berupa suhu permukaan tanah (LST) dapat digunakan untuk mendeteksi anomali suhu permukaan sebagai indikasi adanya sistem panas bumi di suatu daerah untuk memudahkan pengerucutan lokasi pada tahap eksplorasi.

**Keywords:** Landsat Imagery, Land Surface Temperature (LST), Geothermal Manifestation s

**Abstract:** Sipoholon is a sub-district located in North Tapanuli Regency, North Sumatra, which the Sumatran Fault System passes. Based on the Geological map of Sidikalang, geothermal manifestations such as hot springs were found in the area. The existence of this manifestation indicates that there is a geothermal system working underneath. The presence of geothermal manifestations in an area will affect the ground surface temperature. Surface temperature anomaly detection can be done in various ways. One method that is easy to do is to use Remote Sensing Imagery. Besides being easy to access, remote sensing imagery can also cover a large area. This study uses Landsat imagery to detect surface temperature anomalies as an indication of geothermal manifestations in Sipoholon, North Sumatra. Band 10 and band 11, which are thermal infrared (TIR), are processed to obtain the brightness temperature. Bands 4 and 5 calculate the vegetation density (NDVI) and surface temperature emissivity. The combination of band 10, band 11, and NDVI are combined to calculate the Land Surface Temperature. Field data in the form of hot spring temperature and ground surface temperature were taken to verify the image analysis that had been carried out. The image analysis results show that the surface temperature in the study area ranges

*from 16.7°C to 28.4°C. The high-temperature anomaly is in a location passed by the Sumatran fault. Verification results in the field show consistent results, and there are hot springs in the area passed by the Sumatran fault with temperatures of 35.7°C – 64.4°C. In comparison, the soil surface temperature ranges from 31.3°C – 48.7°C. This result shows that Landsat imagery in the form of land surface temperature (LST) can be used to detect surface temperature anomalies to indicate the presence of a geothermal system in an area to facilitate location purification at the exploration stage.*

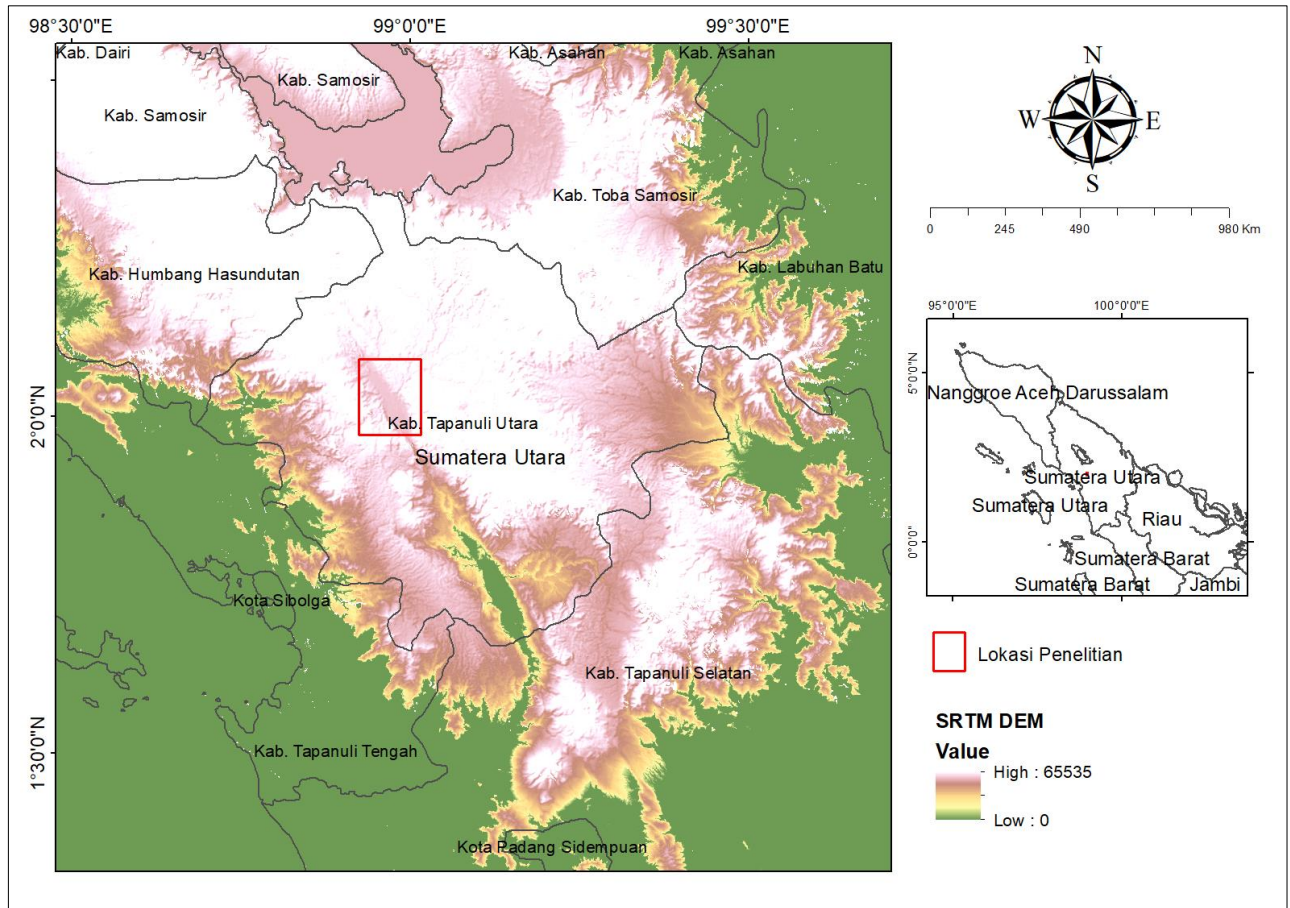
---

## 1. Pendahuluan

Energi panas bumi mengacu pada fenomena alam berupa energi yang dihasilkan dari panas yang ada di dalam bumi (Darge dkk, 2019). Energi ini merupakan energi terbarukan yang terbentuk dan tersimpan di dalam bumi dalam bentuk air panas atau uap panas (DiPippo, 2005). Dibandingkan dengan energi konvensional, energi ini lebih bersih, lebih aman, dan membutuhkan lebih sedikit ruang untuk eksplorasi dan ekstraksi (Siahaan dkk, 2011). Berdasarkan data Badan Geologi-Kementerian ESDM (Desember 2020), total potensi energi panas bumi Indonesia diperkirakan mencapai 23,7 GW dan akan terus dikembangkan menjadi energi yang ramah lingkungan.

Penginderaan jauh merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan lokasi anomali termal dan manifestasinya (Van der Meer dkk, 2014). Selain itu juga dapat digunakan sebagai tolak ukur geografis untuk memandu survei tanah dan pemetaan geologi (Hodder, 1970; Reeves dan Rae, 2016). Survei penginderaan jauh inframerah termal dapat mendeteksi anomali suhu kecil mulai 0,05–0,5 °C dengan luas hingga ratusan kilometer persegi. Penginderaan jauh inframerah (TIR) telah digunakan dalam eksplorasi panas bumi untuk mengidentifikasi mata air panas dan anomali panas bumi dekat permukaan lainnya dengan teknik pemindaian TIR (Qin et al., 2011; Claudia dan Stefan 2013; Heasler dan Jaworowski, 2018).

Penginderaan jauh inframerah termal (TIR) dapat dianalisis menggunakan Citra Landsat dalam bentuk Land Surface Temperature (LST). LST merupakan suhu permukaan dari kerak bumi dimana panas dan radiasi dari matahari terserap, terefleksi dan terefraksi (Anandababu dkk, 2018). Landsat 8-9 membawa 2 sensor yakni Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS). Sensor OLI mengambil data dengan resolusi spasial 30 meter dengan 8 band yang terletak di rentang panjang gelombang sinar tampak (*visible*), inframerah dekat (*near-infrared*) dan *shortwave infrared* serta tambahan band *panchromatic* dengan resolusi spasial 15 meter.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian (kotak merah)

Lokasi penelitian berada di Daerah Sipoholon dan sekitarnya. Sipoholon merupakan sebuah kecamatan yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat  $2^{\circ} 5' 7.004''$  LU dan  $98^{\circ} 55' 26.877''$  BT sampai dengan  $1^{\circ} 58' 23.255''$  LU dan  $99^{\circ} 0' 57.425''$  BT. Berdasarkan peta geologi regional lembar Sidikalang, di daerah Sipoholon ditemukan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Menurut Nukman dan Hochstein (2019), Sipoholon berada pada Cekungan Tarutung yang merupakan satu dari lima sistem panas bumi yang berasosiasi dengan Sistem Sesar Sumatera (SFS) yang membentang sepanjang 100 km di Sumatera Tengah, bagian utara. Sistem sesar ini yang diindikasikan menjadi jalan keluarnya fluida hidrotermal ke permukaan.

Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan keefektifan penginderaan jauh untuk mendeteksi keberadaan manifestasi panas bumi menggunakan anomali suhu permukaan yang dihasilkan dari citra Landsat dengan cara menghitung *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), mengkonversi data band TIRS ke TOA *Spectral Radiance*, menghitung suhu kecerahan atmosfer, mengestimasi suhu permukaan tanah dan menganalisis anomali suhu permukaan. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk memudahkan proses pemilihan lokasi yang berpotensi pada tahap eksplorasi panas bumi.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Bahan

Penelitian ini menggunakan Citra Landsat 8-9 OLI/TIRS C1 L1 yang dapat diakses melalui laman <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Citra Landsat yang digunakan diakusisi tanggal 15 Juni 2021. Saat ini, Citra Landsat *Thermal Infrared* (TIR) yang meliputi band 10 dan 11 digunakan untuk mengestimasi suhu

kecerahan (*brightness temperature*) sedangkan band 4 dan band 5 digunakan untuk membuat NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) di lokasi penelitian. Citra ini mempunyai metadata dari band seperti *thermal constant*, *rescaling factor value* dan lain-lain yang dapat digunakan untuk menghitung nilai suhu permukaan bumi (*Land Surface Temperature*).

Secara lebih detail, panjang gelombang dan resolusi yang pada Citra Landsat 8-9 OLI/TIRS disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 1.** Panjang gelombang dan resolusi pada Citra Landsat 8-9 OLI/TIRS

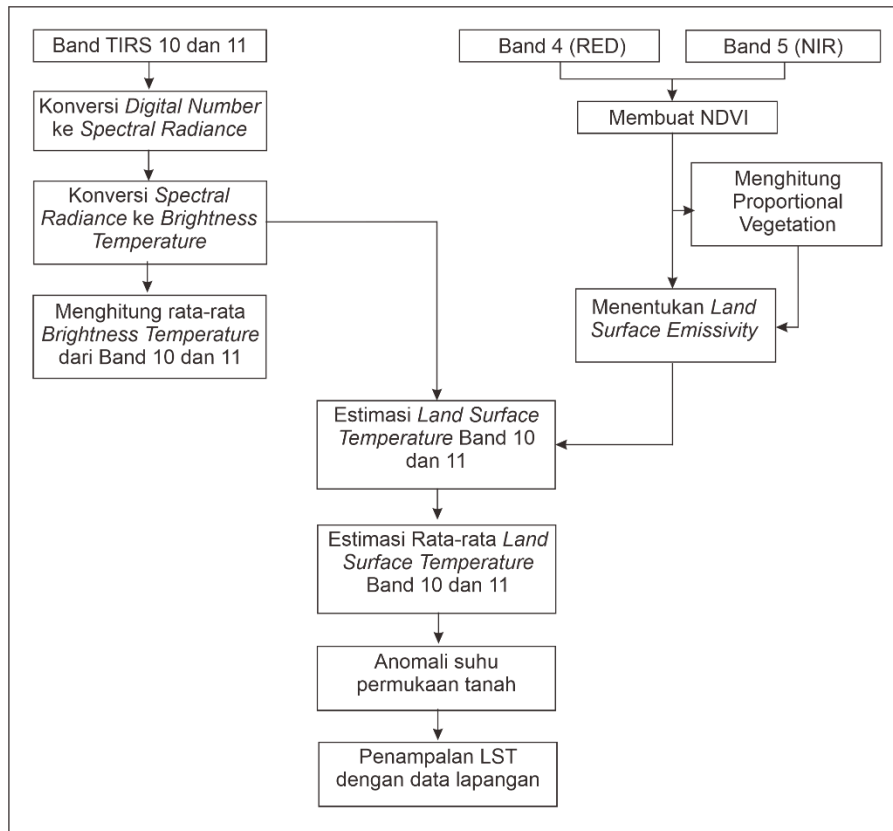
Bands	Panjang Gelombang (Mikrometer)	Resolusi (meter)
Band 1 – Ultra Blue ( <i>coastal/aerosol</i> )	0.435 - 0.451	30
Band 2 – Blue	0.452 - 0.512	30
Band 3 – Green	0.533 - 0.590	30
Band 4 – Red	0.636 - 0.673	30
Band 5 – Near Infrared ( <i>NIR</i> )	0.851 - 0.879	30
Band 6 – Shortwave Infrared ( <i>SWIR</i> ) 1	1.566 - 1.651	30
Band 7 – Shortwave Infrared ( <i>SWIR</i> ) 2	2.107 - 2.294	30
Band 8 – Panchromatic	0.503 - 0.676	15
Band 9 – Cirrus	1.363 - 1.384	30
Band 10 – Thermal Infrared ( <i>TIRS</i> ) 1	10.60 - 11.19	30
Band 11 – Thermal Infrared ( <i>TIRS</i> ) 2	11.50 - 12.51	30

**Tabel 2.** Metadata yang digunakan untuk perhitungan *Land Surface Temperature* (LST)

Metadata	Nilai
<i>Radiance Add Band 10</i>	0.10000
<i>Radiance Add Band 11</i>	0.10000
<i>Radiance Mult Band_10</i>	0.000342
<i>Radiance Mult Band_11</i>	0.000342
<i>K1 Constant Band 10</i>	774.8853
<i>K2 Constant Band 10</i>	1321.0789
<i>K1 Constant Band 11</i>	480.8883
<i>K2 Constant Band 11</i>	1201.1442

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ArcGIS v.10.8 untuk membuat peta *Land Surface Temperature*. Band 10 dan 11 yang merupakan *Thermal Infrared* (TIR) masih dalam bentuk *Digital Number*, sehingga perlu dilakukan konversi menjadi nilai *Spectral Radiance* yang kemudian dikonversikan menjadi *Brightness Temperature*. Band 4 dan Band 5 digunakan untuk menghitung nilai NDVI untuk mengetahui kerapatan vegetasi di lokasi penelitian dan menghitung nilai *Land Surface Emissivity*. Nilai *brightness temperature* dari band 10 dan band 11 dikalkulasi dengan nilai *Land Surface Emissivity* menghasilkan nilai *Land Surface Temperature* (LST) dari band 10 dan band 11. Nilai LST yang digunakan dalam penelitian ini adalah rata-rata LST dari band 10 dan band 11. Data lapangan berupa suhu mata air panas dan suhu permukaan tanah diambil untuk verifikasi terhadap analisis data yang telah dihasilkan.

## 2.2 Metode



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### Proses Pembuatan Peta Land Surface Temperature (LST)

#### 1. Konversi *Digital Number* ke Nilai *Spectral Radiance*

Pada tahap ini dilakukan koreksi *Top of Atmosphere* (TOA) Radiance dengan rumus sebagai berikut.

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Dimana:

$L\lambda$  = TOA *spectral radiance* (Watts/ (m<sup>2</sup> \* sr \* μm))

ML = *Radiance multiplicative Band* (No.)

AL = *Radiance Add Band* (No.)

$Q_{cal}$  = Nilai piksel (Digital Number) dari produk standar yang sudah terkuantisasi dan terkalibrasi

#### 2. Konversi Nilai *Spectral Radiance* ke Nilai *Brightness Temperature*

Pada tahap ini dilakukan koreksi *Top of Atmosphere* (TOA) *Brightness Temperature*, dimana nilai *spectral radiance* dikonversi ke nilai *brightness temperature* menggunakan nilai konstanta termal yang ada di dalam meta data file dengan rumus sebagai berikut.

$$BT = K2 / \ln(k1 / L\lambda + 1) - 272.15 \quad (3)$$

Dimana:

BT = *Top of atmosphere brightness temperature* (°C)

$L\lambda$  = TOA *spectral radiance* (Watts/( m<sup>2</sup> \* sr \* μm))

K1 = *K1 Constant Band* (No.)

K2 = *K2 Constant Band* (No.)

#### 3. Pembuatan NDVI (*Normalized Vegetation Index*)

NDVI dihitung menggunakan band 4 dan band 5 dengan rumus sebagai berikut.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4)$$

Dimana:

RED = Nilai *Digital Number* dari band RED

NIR = Nilai *Digital Number* dari band Inframerah dekat

#### 4. Perhitungan *Land Surface Emissivity* (LSE)

Emisivitas permukaan tanah (*Land Surface Emissivity*) merupakan rata-rata emisivitas dari elemen di permukaan bumi yang dihitung dari nilai NDVI.

$$PV = [(NDVI - NDVI \text{ min}) / (NDVI \text{ max} + NDVI \text{ min})]^2 \quad (5)$$

Dimana:

PV = Proporsi Vegetasi

NDVI = Nilai *Digital Number* dari citra NDVI

NDVI Min = Nilai *Digital Number* minimum dari citra NDVI

NDVI Max = Nilai *Digital Number* maksimum dari citra NDVI

$$E = 0.004 * PV + 0.986 \quad (6)$$

Dimana:

E = Emisivitas Permukaan Tanah

PV = *Proportion of Vegetation*

#### 5. Perhitungan *Land Surface Temperature* (LST)

Suhu Permukaan Tanah merupakan suhu radiasi yang dihitung menggunakan suhu *Top of Atmosphere Brightness*, panjang gelombang dari radiasi yang teremisi dan emisivitas permukaan tanah.

$$LST = (BT / 1) + W * (BT / 14380) * \ln(E) \quad (7)$$

Dimana:

BT = *Top of Atmosphere brightness temperature* (°C)

W = Panjang gelombang pada radiasi yang teremisi

E = Emisivitas permukaan tanah

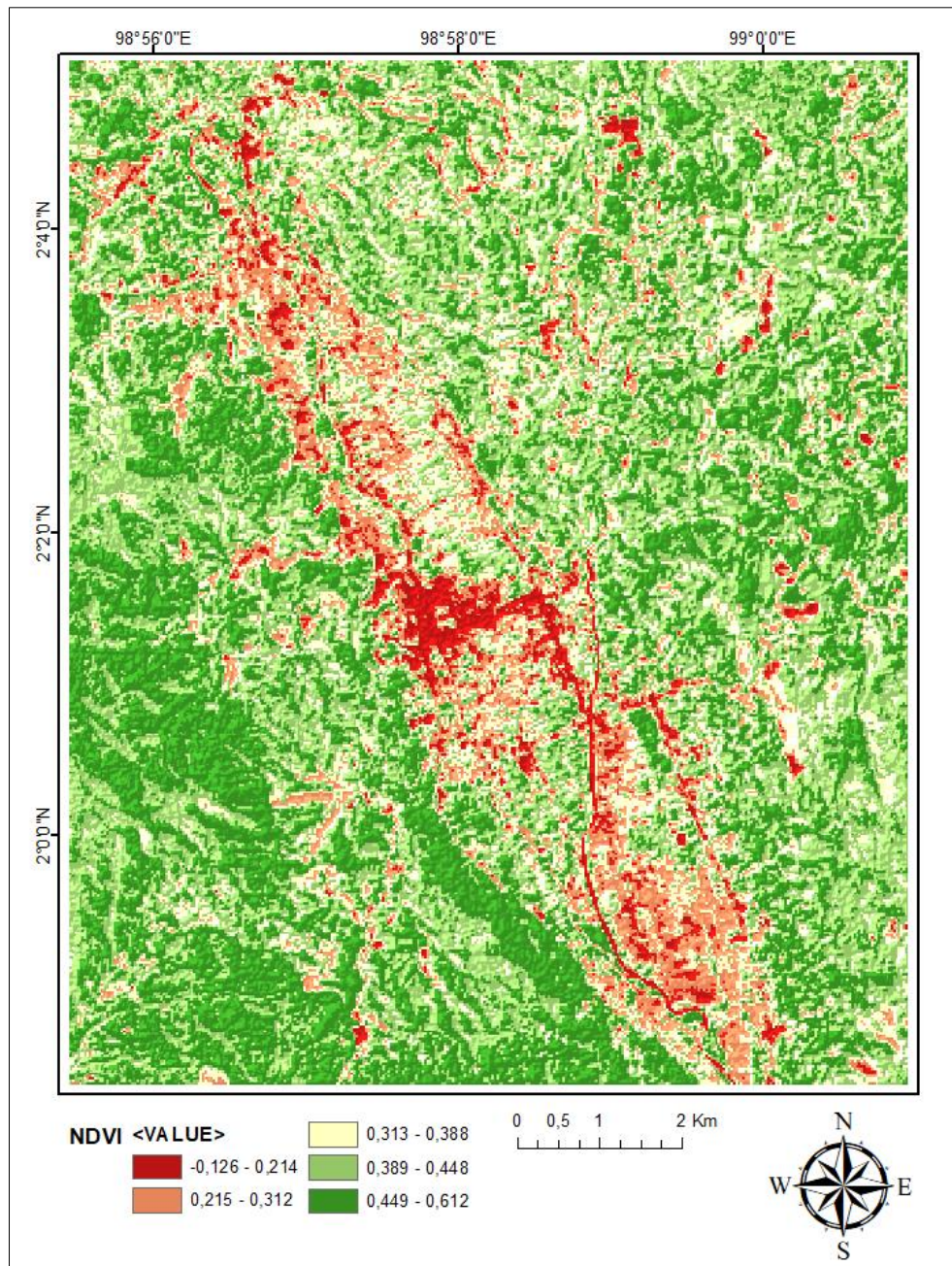
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

NDVI merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui indeks kerapatan vegetasi di suatu daerah menggunakan band 4 dan band 5 citra Landsat. Nilai NDVI di lokasi penelitian berkisar antara -0,126 hingga 0,612. Nilai NDVI rendah dipresentasikan dengan warna kuning-merah, sedangkan NDVI tinggi berwarna hijau muda-hijau tua. Rasio minimum menunjukkan adanya daratan non vegetasi seperti lahan terbangun, tanah kosong, perairan dan wilayah dengan kondisi vegetasi rusak (Sudiana dan Diasmara, 2008). Lokasi keterdapatn manifestasi panas bumi di suatu daerah ditunjukkan dengan nilai NDVI rendah, sangat rendah dan tanpa vegetasi. Pada lokasi penelitian ditunjukkan dengan warna merah yang tersebar dominan di bagian tengah lokasi penelitian.

**Tabel 3.** Klasifikasi NDVI di lokasi penelitian

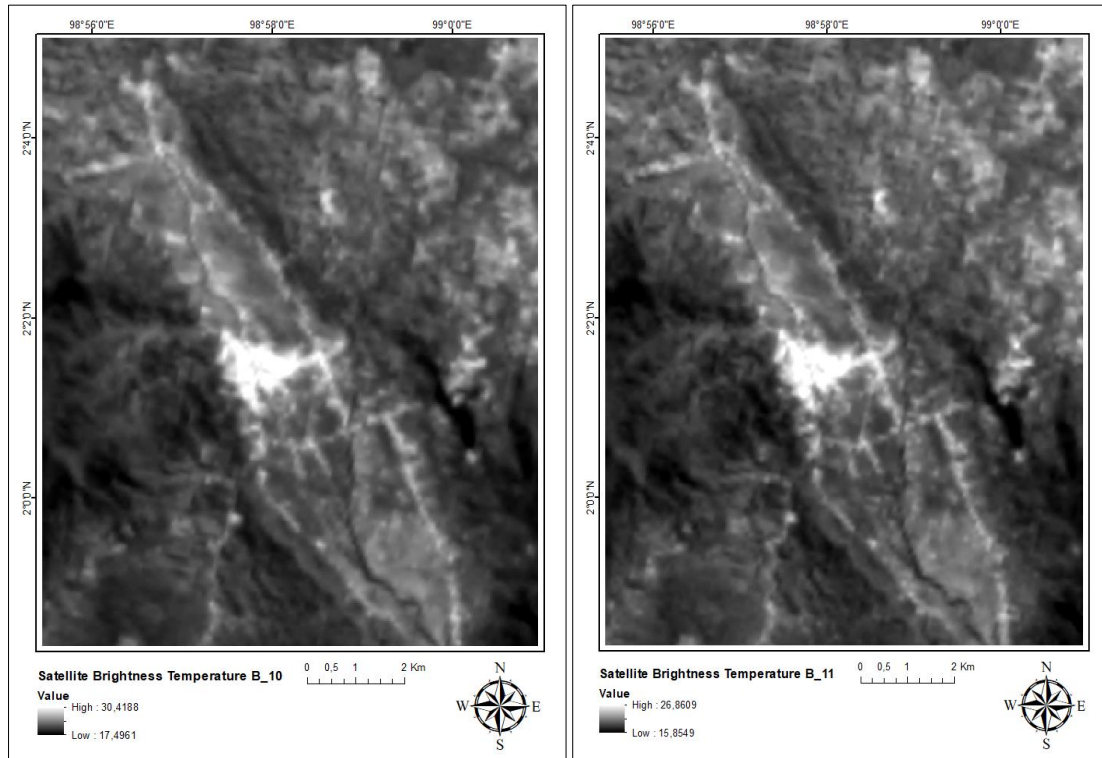
No	Klasifikasi NDVI	Nilai NDVI
1	Lahan tanpa vegetasi	-0,126 – 0,214
2	Sangat rendah	0,215 – 0,312
3	Rendah	0,313 – 0,388
4	Sedang	0,389 – 0,448
5	Tinggi	0,449 – 0,612



Gambar 3. Peta NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

### 3.2 Satellite Brightness Temperature

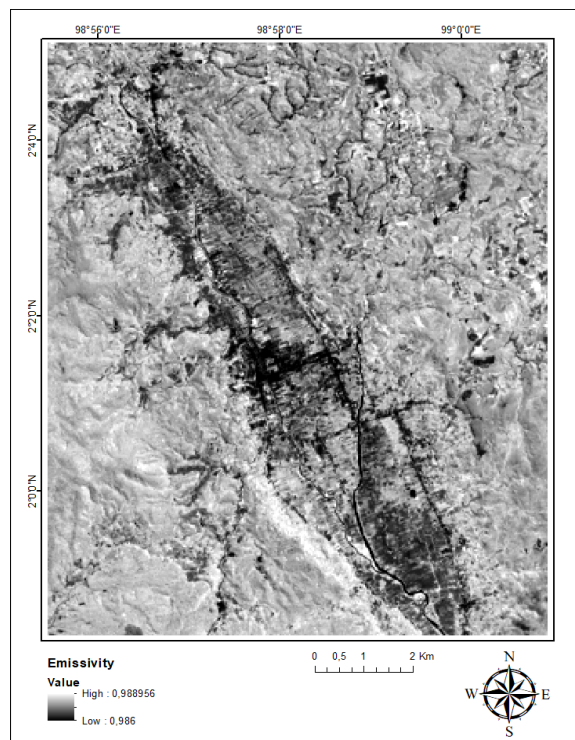
Radiasi gelombang elektromagnetik yang dideteksi oleh sensor termal disebut dengan *brightness temperature* atau suhu kecerahan. Analisis *brightness temperature* dilakukan pada band 10 dan band 11, dimana hasil pengolahan tersebut menunjukkan nilai *brightness temperature* pada band 10 berkisar antara 17,4961°C sampai dengan 30,4188°C dan band 11 berkisar antara 15,8549°C sampai dengan 26,8609°C. Nilai suhu kecerahan ini dibutuhkan untuk menghitung suhu permukaan tanah pada panjang gelombang 10,8 dan 12,0  $\mu\text{m}$  bersama dengan nilai emisivitas (Romaguera dkk, 2017).



Gambar 4. Satellite Brightness Temperature Band 10 (kiri) dan Band 11 (kanan).

### 3.3 Nilai Emisivitas

Emisivitas merupakan kemampuan objek untuk memancarkan energi yang dimilikinya dan berkaitan dengan proses absorpsi, pantulan dan transmisi dari suatu objek (Mallick dkk, 2012). Emisivitas permukaan dipengaruhi oleh tutupan lahan yang didapat melalui pendekatan indeks vegetasi. Perhitungan nilai emisivitas membutuhkan nilai PV (*Proportion of Vegetation*) yang didapat dari nilai NDVI (Sobrino dkk, 2008).



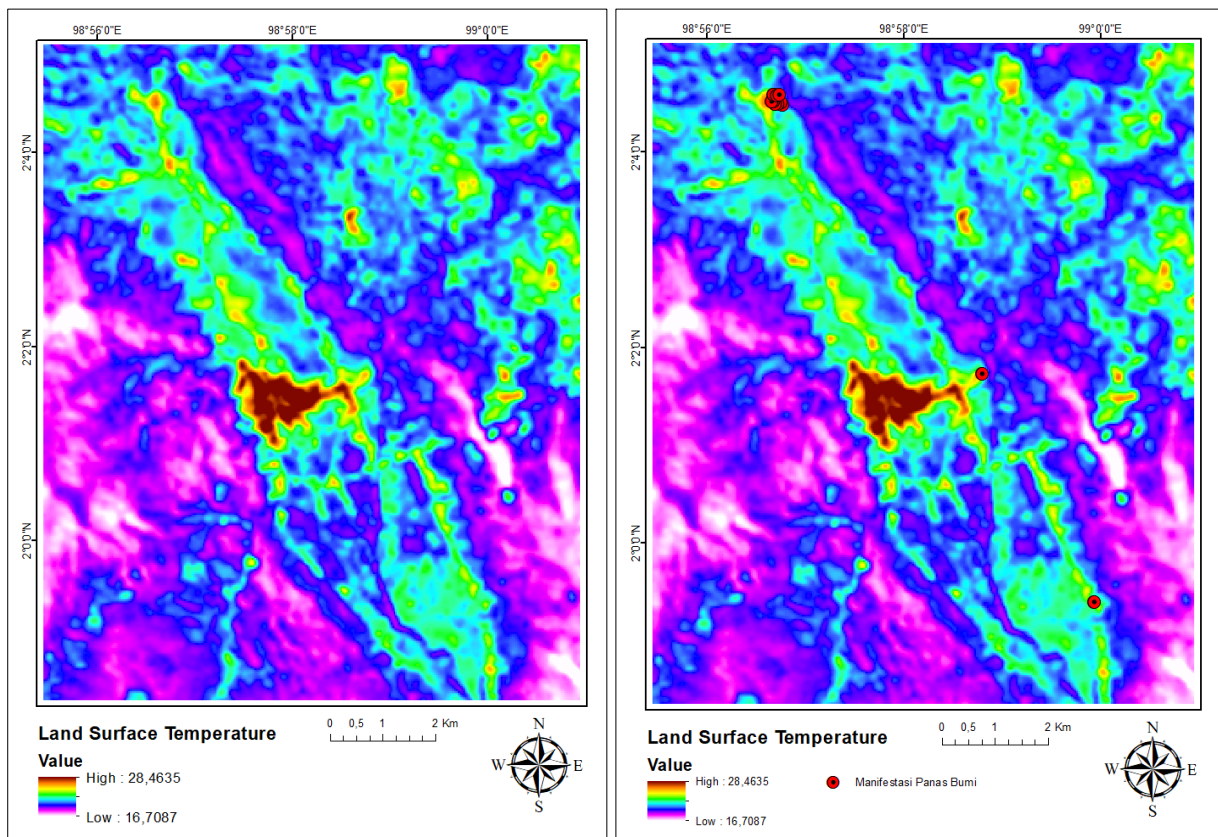
Gambar 5. Nilai Emisivitas di lokasi penelitian.



Nilai emisivitas permukaan yang mendekati 1 atau 1 menunjukkan permukaan objek yang dapat menyerap radiasi sempurna dan memancarkan emisi yang tinggi (Sabin, 2007 dalam Fawzi, 2014). Hasil analisis di lokasi penelitian, nilai emisivitas berkisar antara 0,986-0,988956. Nilai emisivitas yang tinggi (mendekati 1) umumnya terdapat pada penggunaan lahan hutan, sedangkan emisivitas rendah berada di daerah pemukiman. Di lokasi penelitian nilai emisivitas rendah terkonsentrasi dominan di bagian tengah. Nilai emisivitas didapat dari persamaan yang menggunakan nilai NDVI yang merepresentasikan kerapatan vegetasi. Daerah hutan memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi sehingga menunjukkan nilai emisivitas tinggi.

### 3.4 Land Surface Temperature (LST)

Suhu permukaan tanah (LST) mengukur emisi radiasi termal dari permukaan tanah dimana energi matahari yang datang berinteraksi dengan objek dan material yang mempunyai sifat psikokemikal berbeda. Hasilnya, LST sangat berkontribusi pada pemahaman proses-proses yang terjadi di permukaan tanah pada skala global maupun regional (Peleli dkk, 2021). Nilai suhu permukaan tanah di lokasi penelitian berkisar antara 16,70°C hingga 28,46°C. Anomali suhu tinggi direpresentasikan dengan warna merah tua sedangkan suhu terendah berwarna magenta. Suhu tinggi tersebar di bagian tengah lokasi penelitian yang merupakan sebuah lembah yang terbentuk akibat adanya Sesar Sumatera.



**Gambar 6.** Nilai *Land Surface Temperature* (kiri) dan nilai *Land Surface Temperature* yang ditampilkan dengan lokasi manifestasi panas bumi di lokasi penelitian (kanan).

Verifikasi terhadap hasil analisis citra Landsat dilakukan di lokasi penelitian dengan mengukur langsung suhu permukaan tanah dan suhu mata air panas. Tahapan ini sekaligus dilakukan untuk memastikan keberadaan manifestasi panas bumi di lokasi penelitian. Hasil data lapangan disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Data pengukuran suhu manifestasi panas bumi dan suhu permukaan tanah di Sipoholon

STA	X	Y	T (°C)	Keterangan
SRR 02/1	493869	229501	62.2	Mata air panas
SRR 02/2	493925	229355	60,1	Mata air panas
SRR 02/3	493928	229336	64,4	Mata air panas
SRR 02/4	493949	229352	61,2	Mata air panas
SRR 02/5	493956	229340	59	Mata air panas
SRR 02/7	494008	229317	59.7, 63.2	Mata air panas
SRR 02/8	493981	229363	61.6, 62.6	Mata air panas
SPH 02/9	497766	224247	48,7	Mata air panas
STP 02/10	499873	219945	35,7	Mata air panas
SRR 03/2	493838	229470	62,6	Mata air panas
SRR 03/3	493848	229471	59,5	Mata air panas
SRR 03/4	493846	229472	31.3	Suhu permukaan tanah
SRR 03/5	493863	229472	48.7	Suhu permukaan tanah
SRR 03/7	493837	229377	63,4	Mata air panas
SRR 03/8	493802	229376	63.7	Mata air panas
SRR 03/10	493919	229326	61,3	Mata air panas
SRR 03/11	493859	229326	60,2	Mata air panas
SRR 04/3	493898	229491	49,6	Mata air panas
SRR 04/4	493902	229495	44,5	Mata air panas
SRR 04/8	493945	229503	62,3	Mata air panas
SRR 04/10	493838	229501	61,7	Mata air panas



Gambar 7. Manifestasi panas bumi berupa mata air panas di Sipoholon

Gambar 6b. menunjukkan suhu permukaan tanah yang ditampilkan dengan data lapangan berupa lokasi mata air panas. Berdasarkan pertampalan tersebut, lokasi manifestasi panas bumi berupa mata air panas berada pada nilai anomali suhu tinggi yang ditunjukkan oleh citra Landsat. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan citra Landsat berupa *Land Surface Temperature* dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan manifestasi panas bumi di suatu daerah sehingga proses penentuan lokasi eksplorasi menjadi lebih terarah.

#### 4. Kesimpulan

Analisis citra Landsat telah dilakukan meliputi pembuatan NDVI, *Land Surface Emissivity* (LSE) dan *Land Surface Temperature* (LST). Pengambilan data lapangan berupa titik manifestasi panas bumi juga dilakukan untuk verifikasi pengolahan citra Landsat yang telah dilakukan. Berdasarkan analisis LST, suhu permukaan tanah di lokasi penelitian berkisar antara 16,70°C hingga 28,46°C. Anomali suhu tinggi tersebar di bagian tengah lokasi penelitian yang merupakan sebuah lembah yang terbentuk akibat adanya Sesar Sumatera. Verifikasi lapangan juga menunjukkan hasil yang selaras bahwa keterdapatannya manifestasi panas bumi berada pada peta LST dengan anomali suhu tinggi. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan citra Landsat berupa *Land Surface Temperature* efektif digunakan untuk menunjukkan lokasi keberadaan manifestasi panas bumi di suatu daerah sehingga proses eksplorasi menjadi lebih mudah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aldis, D. T., Whandoyo, R., Ghazali, S. A., dan Kusyono, 1983, *Peta Geologi Lembar Sidikalang dan (Sebagian) Sinabang, Suamtera Skala 1:250.000*, Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementerian ESDM.
- Anandababu, D., Purushothaman, B. M., dan Suresh, B. S., 2018, *Estimation of Land Surface Temperature using Landsat 8 Data*. International Journal of Advance Research, Ideas and innovations in Technology, 177-186.
- Claudia, K., Stefan, D., 2013, *Thermal Infrared Remote Sensing Sensor, Method, Application, First ed.* Springer, London.
- Darge, Y. M., Hailu, B. T., Muluneh, A. A., Kidane, T., 2019. *Detection of Geothermal Anomalies Using Landsat 8 TIRS Data in Tulu Moyo Geothermal Prospect, Main Ethiopian Rift*, Int J Appl Earth Obs Geoinformation 74, 16-26.
- DiPippo, R., 2005, *Geothermal Power Plants: Principle, Applications and Case Studies*, Elsevier, UK.
- Fawzi, N. I., 2014, *Pemetaan emisivitas permukaan menggunakan indeks vegetasi*, *Majalah Ilmiah Globe*, 16(2): 133-139.
- Heasler, H., Jaworowski, C., 201, *Hydrothermal monitoring of Norris Geyser Basin, Yellowstone National Park, USA, using airborne thermal infrared imagery*, *Geothermics* 72, 24–46.
- Hodder, D.T., 1970, *Application of Remote Sensing to Geothermal Prospecting*, *Geothermics* 2, 368–380.
- Mallick, J., Singh, C.K., S Shashtri, Rahman, A., and Mukherjee, s., 2012, *Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city*, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 19(1):348–358.
- Nukman, M., dan Hoschstein, M. P., 2019, *The Sipoholon Geothermal Field and adjacent geothermal systems along the North-Central Sumatra Fault Belt, Indonesia: Reviews on geochemistry, tectonics, and natural heat loss*, *Journal of Asian Earth Sciences* 170, 316-328.
- Peleli, S., Kouli, M., Marchese, F., Lacava, T., Vallianatos, F., dan Tramutoli, V, 2021, *Monitoring temporal variations in the geothermal activity of Miocene Lesvos volcanic field using remote sensing techniques and MODIS – LST imagery*, *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*.
- Qin, Q., Ning, Z., Peng, N., Leile, C., 2011, *Geothermal Area Detection Using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and Its Mechanistic Analysis—A Case Study In Tengchong, China*, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 13, 552–559.
- Ramaguera, M., Vaughan, R. G., Ettema, J., Izquierdo-Verdiguier, E., Hecker, C. A., dan Van der Meer., 2017, *Detecting geothermal anomalies and evaluating LST geothermal component by combining thermal remote sensing time series and land surface model data*, *Journal Remote Sensing of Environment*.
- Reeves, R., Rae, L., 2016. *Changes in Aerial Thermal Infrared Signature Over The Rotorua Geothermal field, New Zealand: 1990–2014*. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 64, 262–270.
- Siahaan, M., Soebandrio, A., Wikantika, K., 2011, *Geothermal Potential Exploration Using Remote Sensing Technique (Case Study: Patuwa Area, West Java)*, *Proceeding of The Tenth Annual Asian Conference*, 1-13 p.

- Sudiana, D dan Diasmara, E., 2008, *Analisis Indeks Vegetasi Menggunakan Data Satelit NOAA/AVHRR dan TERRA/AQUA-MODIS*, Prosiding Seminar on Intellegent Technology and Its Applications, 423-428 p.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Paolini, L., 2008, *Land Surface Emissivity Retrieval from Different VNIR and TIR Sensors*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46(2): 316-325 p.
- Van der Meer, F., Tanre, D., Deuze, H. M., Morcrette, J., 1997b, *Second Simulation of The Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6s: An Overview*, IEEE Trans, Geoscience Remote Sensing, 35, 675-686.