

Analisis *Land Surface Temperature* (LST) dan *Fault Fracture Density* (FFD) di Daerah Geotermal Bukit Kili-Gunung Talang, Sumatra Barat

Land Surface Temperature (LST) and Fault Fracture Density (FFD) Analysis in Bukit Kili-Gunung Talang Geothermal Area, West Sumatra

Received 10 March 2023
Accepted 17 April 2023
Published April 2023

Muhammad Rayhan Hidayat, Jenian Marin*, Rais Brian Abdurrahman,
Syafa Natasya Devien, dan Illya Nur Fatimah

Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro, Semarang 50275,
Indonesia

Abstrak. Daerah Bukit Kili terletak di sebelah utara Gunung Api Talang, ditandai dengan sebaran manifestasi geotermal berupa beberapa titik mata air panas. Studi bertujuan untuk mengetahui sebaran *Land Surface Temperature* (LST) dan *Fault Fracture Density* (FFD) pada daerah penelitian. Korelasi antara keberadaan manifestasi panas bumi dengan hasil analisis penginderaan jauh akan menentukan daerah potensi geotermal. Analisis dilakukan dengan citra DEM SRTM untuk menentukan densitas kelurusan dan Landsat 8 yang memiliki sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) di band 10 dan 11 untuk mendeteksi suhu permukaan bumi. Peta *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan perhitungan nilai emisivitas dilakukan untuk menghasilkan peta LST. Hasil penelitian berdasarkan interpretasi kelurusan pada peta *hillshade* menunjukkan bahwa orientasi yang dominan adalah barat laut-tenggara, berkorelasi dengan struktur geologi regional. Sedangkan berdasarkan peta LST, daerah penelitian memiliki rentang suhu 14,7 – 33,4°C. Daerah bersuhu tinggi diperkirakan akibat adanya aktivitas panas bumi yang didukung dengan keberadaan manifestasi panas bumi. Area suhu tinggi yang tidak berkorelasi dengan aktivitas panas bumi disebabkan oleh vegetasi yang rendah sebagaimana ditunjukkan dari peta NDVI.

Abstract. The Bukit Kili prospect area is located to the north of Talang Volcano, characterized by the distribution of geothermal manifestations. This study aims to determine the distribution of land surface temperature (LST) and the fault fracture density (FFD) of the research area. Correlation between the presence of geothermal manifestations with the results of remote sensing analysis will determine the geothermal potential area. The analysis was carried out using DEM SRTM to determine fault fracture density and Landsat 8 satellite which has a Thermal Infrared Sensor (TIRS) in bands 10 and 11 to detect the temperature of the earth's surface. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) map and emissivity calculation are performed to generate LST map. Result based on the interpretation of lineaments using hillshade map showed that the dominant orientation is northwest-southeast, correlated with the regional structural geology. Meanwhile, LST map showed the study area had temperature range 14.7 – 33.4°C, which high temperature areas is mainly due to the geothermal activity as supported by the geothermal manifestation occurrence. High temperature areas not correlated with geothermal activity is attributed to the low vegetation, indicated from NDVI map.

Keywords: Geothermal, Gunung Talang, Lands surface temperature, Fault fracture density, Landsat 8

Pendahuluan

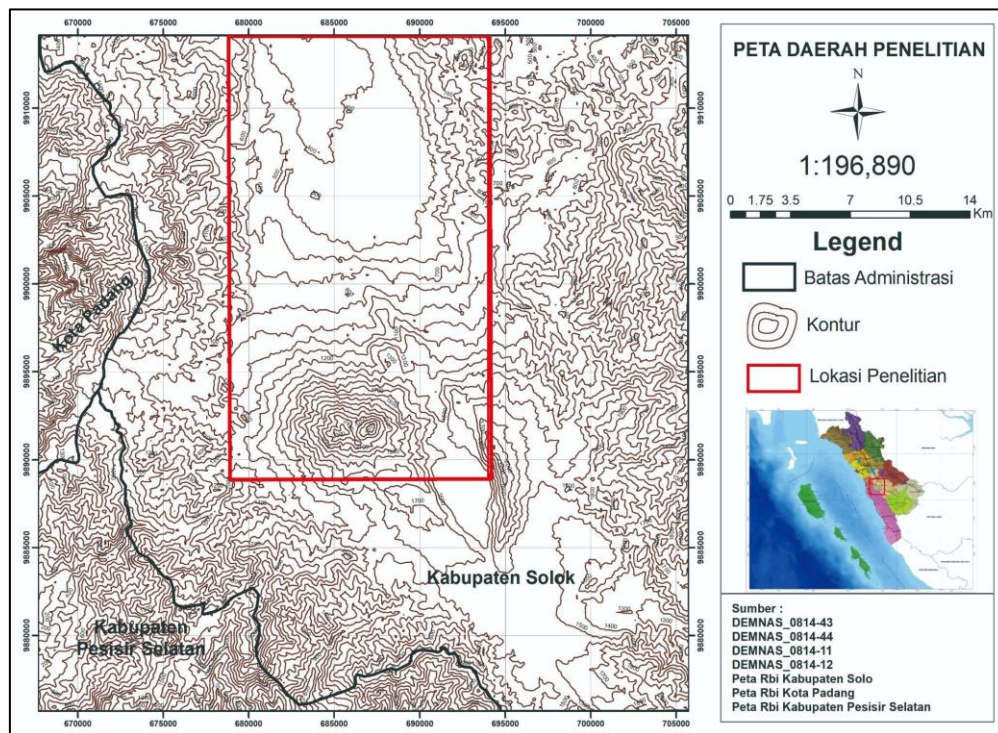
Gunung Talang termasuk salah satu gunung api aktif di Indonesia terletak di Provinsi Sumatera Barat, tepatnya di Kabupaten Solok yang berjarak sekitar 9 km dari kota Arosuka dan sekitar 40 km sebelah timur Kota Padang. Gunung Talang terletak pada 0°58'42" LS dan 100°40'46" BT. Salah satu lokasi yang memiliki potensi sumber energi panas bumi di daerah ini adalah Bukit Kili, Kabupaten Solok, Sumatera Barat (Dirjen EBTKE, 2017; Putriyana dan Soekarno, 2020). Sistem panas bumi di daerah tersebut kemungkinan berkaitan dengan Gunung Talang yang berada di kawasan gunung vulkanik (Idral dkk, 2005; Mardyancilatia, 2014). Berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya, manifestasi panas bumi yang ditemukan di sejumlah titik daerah tersebut berupa mata air panas (Hidayat dan Putra, 2014). Lokasi Gunung Talang yang sulit dijangkau (Gambar 1), maka diperlukan

teknologi yang dapat menentukan lokasi tanpa harus terjun ke lapangan. Teknologi yang dapat menjangkau suatu daerah tanpa harus terjun ke lapangan adalah penginderaan jauh. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu objek di permukaan bumi. Parameter *Land Surface Temperature* (LST) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dapat digunakan untuk menentukan daerah potensial panas bumi (Hariyanto dan Robawa, 2016; Nugroho dan Domiri, 2017). *Fault Fracture Density* (FFD) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi daerah panas bumi berdasarkan densitas kelurusan (Suryantini dan Wibowo, 2010; Ramadhan dkk., 2015; Iqbal dan Juliarka, 2019; Darmawan dkk., 2021). Kelurusan ini diasumsikan berasosiasi dengan patahan dan rekahan sebagai zona lemah yang menjadi jalur pergerakan fluida dari reservoir

panas bumi ke permukaan dan muncul sebagai manifestasi seperti mata air panas atau fumarol.

Geologi daerah penelitian menurut Silitonga dan Kastowo (1995) didominasi oleh batuan gunungapi dengan susunan stratigrafi dari tua ke yang muda yaitu Anggota Batusabak (TRts), Diorit Kuarsa (qd), Andesit Sampai Basalt (Ta), Tuff Leburan (QTwt), Bahan Vulkanik (QTau), Andesit Gunung Talang (Qatg), Kipas Aluvium (Qf), dan Aluvium Sungai (Qal). Struktur

geologi yang berkembang di area Gunung Talang tidak lepas dari adanya pengaruh aktivitas tektonik regional Sumatra berupa sesar geser mengangan berarah baratlaut-tenggara, stuktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar normal yang secara umum berarah barat laut - tenggara, namun juga terdapat beberapa sesar normal berarah timur laut - barat daya serta utara – selatan pada batuan pra-Tersier.



Gambar 1 Peta lokasi penelitian di Solok, Sumatra Barat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi suhu permukaan di kawasan panas bumi di Bukit Kili - Gunung Talang, Solok, Sumatera Barat dan mengetahui densitas kelurusan di daerah penelitian dengan metode penginderaan jauh untuk mengetahui korelasinya dengan keterdapatan manifestasi geotermal di daerah penelitian. Penelitian ini menggunakan citra DEM SRTM dan citra satelit Landsat 8 yang telah memiliki sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) pada band 10 dan 11 yang bermanfaat untuk mendeteksi perbedaan suhu permukaan bumi.

Metodologi

1. Pembuatan Peta FFD

Data DEM SRTM dengan resolusi 30 m (USGS, 2018) wilayah Sumatera Barat digunakan untuk interpretasi kelurusan yang diasumsikan sebagai zona lemah atau sesar dan rekahan. DEM dikonversikan ke dalam bentuk Idengan sudut azimuth 0°, 45°, 90°, dan 135° untuk menampilkan relief permukaan yang dapat memudahkan untuk penarikan kelurusan. Pembuatan peta densitas kelurusan dilakukan dengan menggunakan *software*

ArcGIS 10.4 Dekstop. Arah kelurusan utama dikomparasikan dengan struktur geologi regional.

2. Koreksi Landsat 8 OLI/TIRS

Citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2017 dan 2019 yang diunduh dari USGS (2018) dikoreksi secara radiometrik untuk meminimalisir gangguan atmosfer saat perekaman citra (Cahyono, 2019) dengan persamaan:

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

Keterangan :

$L\lambda$ = TOA (*Top of Atmosphere*) Radiansi Spektral

ML = Faktor skala pengali dari metadata citra

AL = Faktor skala penambah dari metadata citra

Q_{cal} = Nilai DN citra

Selanjutnya dilakukan koreksi untuk mengubah radiansi spectral menjadi *brightness temperature* (USGS, 2018) dengan perhitungan:

$$BT (^{\circ}C) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda}\right)+1} - 272,15 \quad (2)$$

Keterangan :

BT = Brightness Temperature

$L\lambda$ = radian spektral pada sensor ($W/m^2sr \mu m$)

K_1 = konstanta *rescaling* dari metadata citra

K_2 = konstanta penambah dari metadata citra

3. Pembuatan Peta NDVI

Perhitungan NDVI dilakukan dengan persamaan:

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4} PV \quad (3)$$

Nilai PV digunakan untuk melihat presentasi proyeksi vertikal dari tutupan lahan bervegetasi di suatu daerah dapat dilakukan dengan menghitung fraksi vegetasi dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Nilai PV tersebut akan digunakan untuk menentukan nilai emisivitas (ε) yang berfungsi untuk mengurangi kesalahan dalam mengestimasi suhu permukaan tanah (LST) menggunakan citra satelit. Nilai emisivitas dapat diperoleh dengan menerapkan algoritma dari persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = 0,004PV + 0,986 \quad (5)$$

4. Pembuatan Peta LST

Suhu permukaan tanah (LST) dapat dihitung dengan menambahkan koreksi emisivitas permukaan yang diperoleh dari persamaan dengan perhitungan sebagai berikut (USGS, 2018):

$$LST = \frac{BT}{1} + W \frac{BT}{14,380} \ln \varepsilon \quad (6)$$

Keterangan

BT = Brightness Temperature

ε = Emisivitas

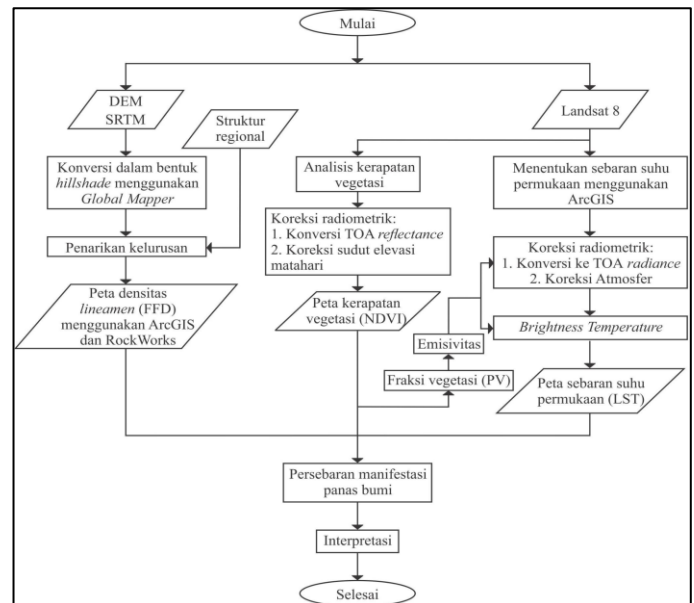
W = nilai *radianance* dari data Landsat 8

Metodologi dalam penelitian ini secara sistematis dapat dirangkum dalam diagram alir (Gambar 2.)

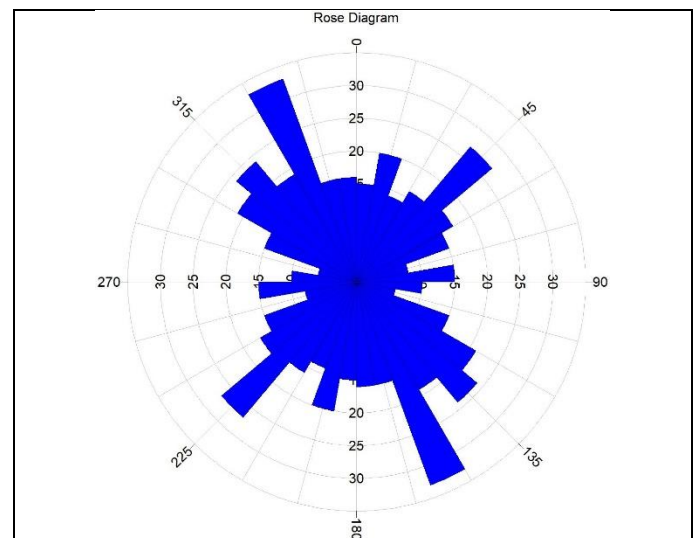
Hasil Penelitian

Densitas Kelurusan di Daerah Penelitian

Interpretasi kelurusan dilakukan dengan *hillshade* pada azimuth $0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}$, dan 135° . Hal ini untuk memastikan bahwa penarikan kelurusan dilakukan secara menyeluruh. Orientasi kelurusan di daerah penelitian didominasi kelurusan berarah NW-SE (Gambar 3.) yang sesuai dengan arah struktur geologi utama di daerah penelitian (Silitonga dan Kustowo, 1995).

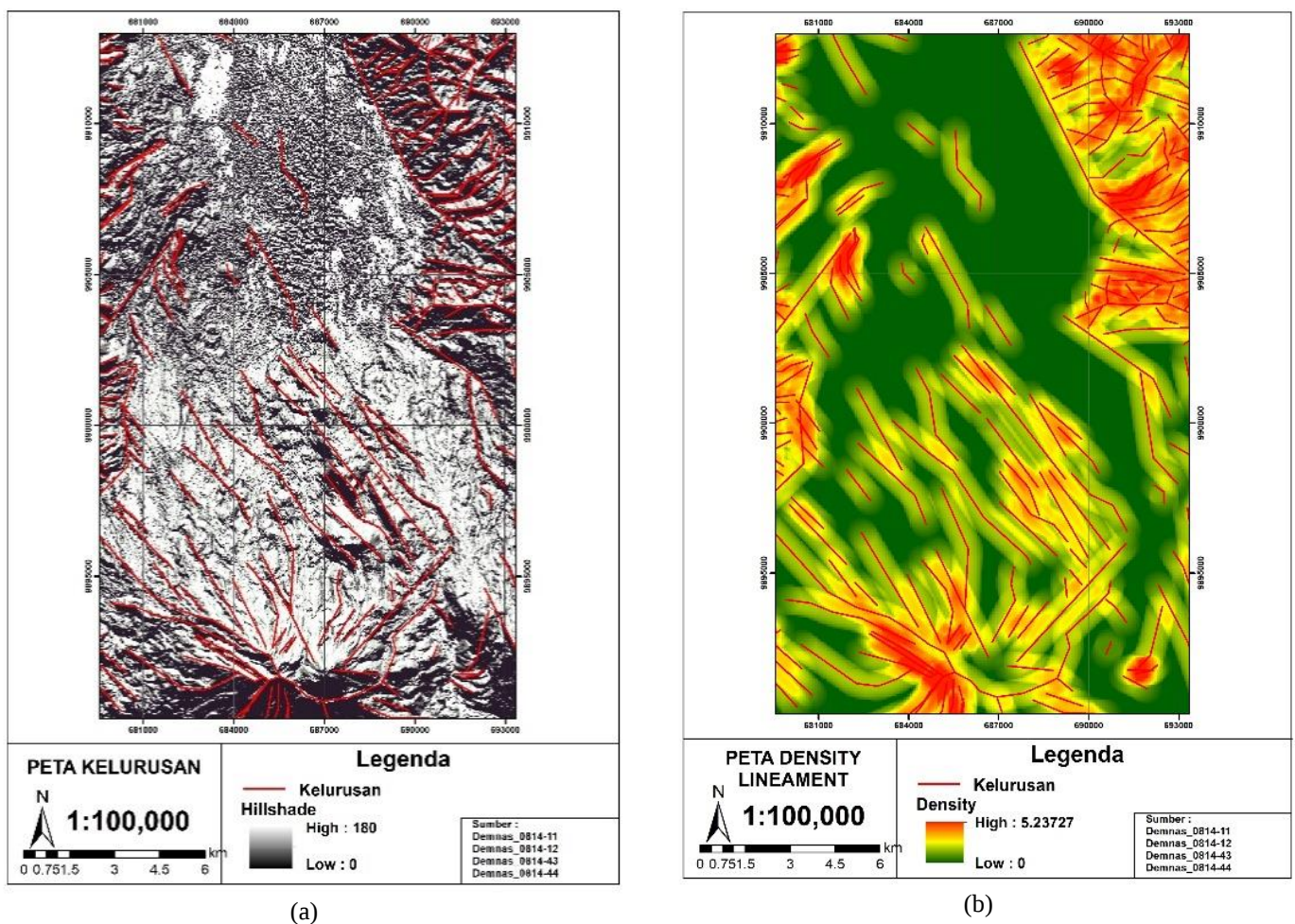


Gambar 2 Diagram alir penelitian



Gambar 3 Orientasi kelurusan utama di daerah penelitian pada arah NW-SE

Setelah dilakukan interpretasi, dibuat peta densitas kelurusan atau FFD. Hasilnya didapatkan nilai tertinggi sebesar 5,23 dan nilai terendah 0. Nilai FFD tinggi ditandai tersebar di beberapa wilayah kaki Gunung Talang dan bagian timur laut dari Gunung Talang sedangkan nilai FFD rendah tersebar di sebelah utara G. Talang (Gambar 4.). Nilai FFD yang tinggi dapat mengindikasikan bahwa daerah tersebut memiliki permeabilitas yang baik, didukung oleh data geologi dan manifestasi yang ada di sekitar G.Talang terutama Bukit Kili. Manifestasi panas bumi dilalui oleh zona sesar regional pada kawasan dengan FFD sedang – tinggi. Daerah bagian utara – timur daerah penelitian memiliki nilai FFD yang tinggi meskipun tidak berhubungan dengan kawasan panas bumi. Hal ini disebabkan oleh kondisi geologi berupa batuan Pra-Tersier yang telah mengalami deformasi intensif sehingga keberadaan struktur geologinya cukup rapat.



Gambar 4 (a) Peta interpretasi kelurusan dengan hillshade DEM, (b) Peta Fault Fracture Density (FFD)

Land Surface Temperature (LST) di Daerah Penelitian

Pengambilan sampel suhu dan tingkat vegetasi pada penelitian kali ini dilakukan menggunakan citra satelit pada bulan yang memiliki tutupan awan paling sedikit dan dilakukan perekaman pada siang hari, perekaman citra satelit pada penelitian dilakukan menggunakan Landsat 8 OLI C1 level 1 pada tanggal 7 Agustus 2017. Nilai landsurface temperature salah satu parameter menggunakan NDVI yaitu rasio yang digunakan untuk menyatakan seberapa rapat vegetasi di suatu daerah. Nilai NDVI dihitung berdasarkan nilai reflektan band inframerah dekat dan band merah

Berdasarkan hasil perhitungan NDVI, wilayah panas bumi Gunung Talang terbagi atas 5 kelas yaitu vegetasi sangat renggang, vegetasi renggang, vegetasi sedang, vegetasi rapat, dan vegetasi sangat rapat. Untuk menyesuaikan antara hasil perhitungan NDVI dengan kondisi langsung di lapangan, dilakukan analisis terhadap kenampakan Google Earth (2021). Hasil perhitungan berupa peta NDVI dapat dilihat pada Gambar 5a.

Suhu Permukaan Tanah Setiap objek lapisan bumi memiliki karakteristik yang berbeda dalam memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik, tergantung suhu yang dimilikinya. Oleh karena itu, suhu permukaan tanah yang

tinggi dapat dijadikan salah satu parameter penentu potensi panas bumi karena pada umumnya suhu permukaan tanah memiliki tingkatan suhu yang lebih tinggi dibanding daerah yang tidak terkena panas bumi (Cahyono, 2019).

Dari hasil analisis Landsat 8 OLI C1 level 1 pada tanggal 7 Agustus 2017 pada daerah Gunung Talang dan sekitarnya didapatkan variasi suhu permukaan pada kisaran 14,7 – 33,4 C (Gambar 5b). Korelasi antara NDVI dan LST di Gunung Talang dan sekitarnya dapat dikelompokkan menjadi lima kelas sebagaimana pada Tabel 1.

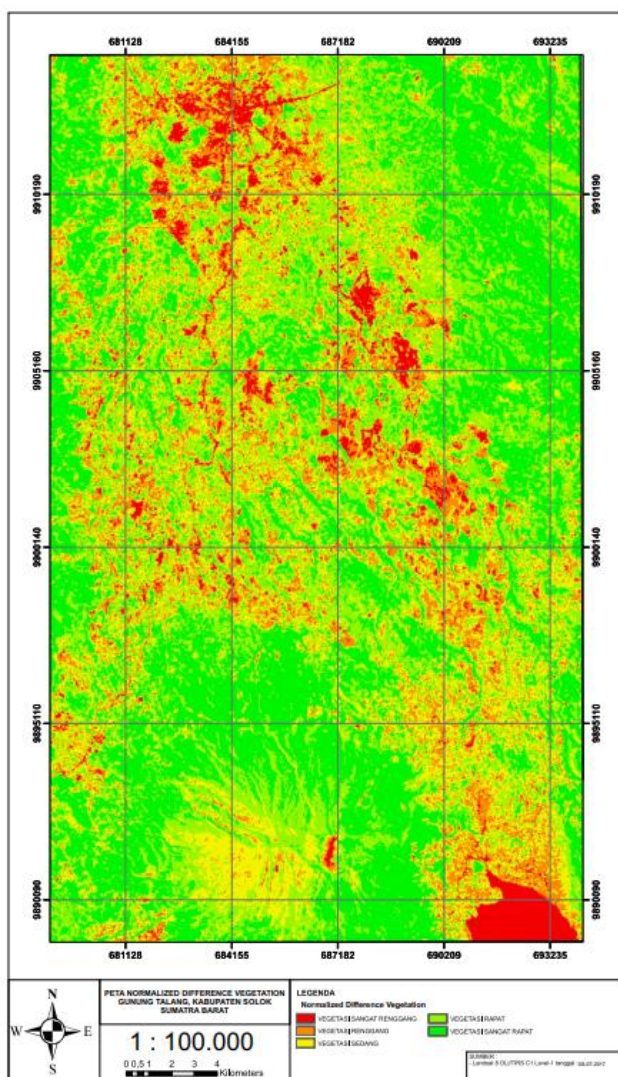
Tabel 1 Hubungan NDVI dan LST di daerah penelitian

Densitas	NDVI	Land Surface Temperature (°Celcius)				Coeff. Variation
		Aver.	Min	Max	SD	
Sangat Rapat	-0,12 – 0,15	17,35	14,7	20	3,38	0,19
Rapat	0,16 – 0,27	21,35	20,1	22,6	1,90	0,09
Sedang	0,28 – 0,37	23,5	22,7	24,3	2,60	0,11
Renggang	0,38 – 0,46	25,4	24,4	26,4	2,21	0,09
Sangat Renggang	0,47 – 0,64	29,95	26,5	33,4	1,82	0,06

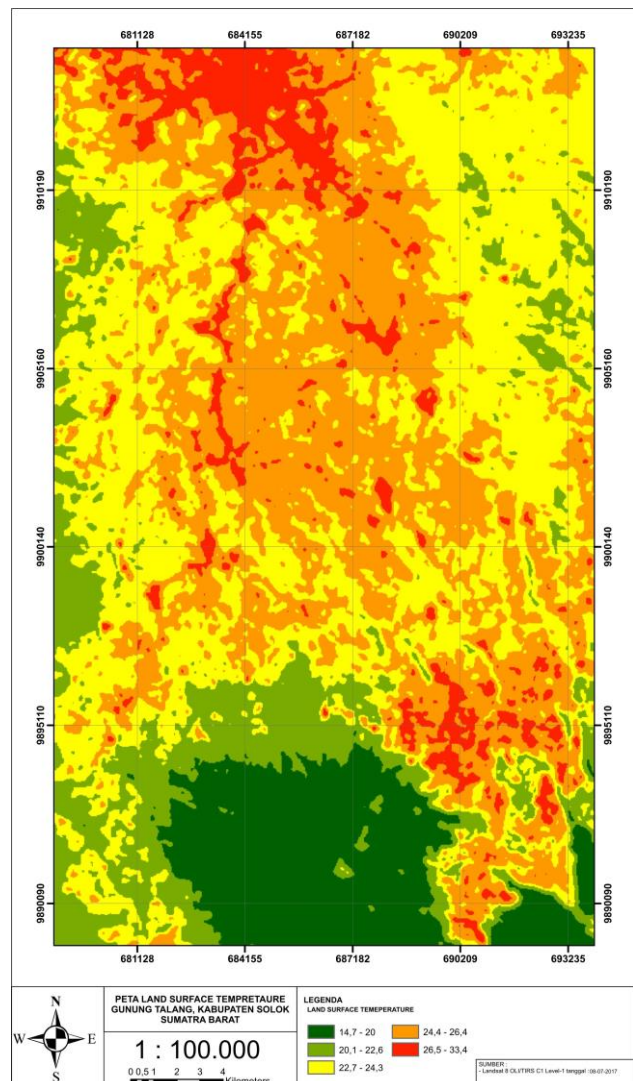
Dari distribusi suhu permukaan dengan tingkat vegetasi pada (Tabel 1) dapat dilihat bahwa tutupan vegetasi yang sangat rapat memiliki suhu permukaan dengan rata-rata paling rendah, dan tutupan vegetasi renggang memiliki suhu rata-rata yang relatif tinggi. Hal tersebut dipengaruhi oleh tingkat vegetasi, sehingga perlu dilakukan perhitungan kembali dalam menginterpretasikan.

Hubungan FFD dan LST dengan Manifestasi Panas Bumi
Korelasi FFD dan LST dengan kemunculan manifestasi panas bumi dilakukan dengan data penelitian terdahulu yaitu sebaran mata air panas pada daerah penelitian di Gunung Talang – Bukit Kili (Mardiyancilatia, 2014). Pada korelasi antara FFD dan data manifestasi panas bumi, area yang memiliki titik manifestasi panas bumi tersusun atas Formasi Kipas Aluvium dan Andesit Gunung Talang yang merupakan produk Gunung Api Talang. Keberadaan manifestasi di daerah penelitian berada pada daerah yang

cenderung memiliki kelurusan sedikit-sedang dan berdekatan dengan adanya struktur sesar mayor yang melintas pada daerah penelitian, mengingat bahwa manifestasi panas bumi erat kaitannya dengan sebaran suhu permukaan dan struktur berupa rekahan-rekahan batuan, sesar, atau bidang kontak antar jenis batuan, juga adanya struktur memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan (Bujung, 2011), hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa area yang terdapat manifestasi pada daerah penelitian dapat terbentuk karena adanya perambatan panas dari bawah permukaan ke permukaan dan atau karena adanya pengaruh struktur geologi berupa sesar atau rekahan (kekar). Dari hasil analisis FFD rekahan dapat terbentuk dari adanya sesar yang berarah Barat Laut – Tenggara dan barat daya – timur laut. Sehingga diperkirakan bahwa rekahan dan sesar tersebut merupakan pengontrol dari naiknya manifestasi panas bumi sekitar Gunung Talang (Gambar 6a).

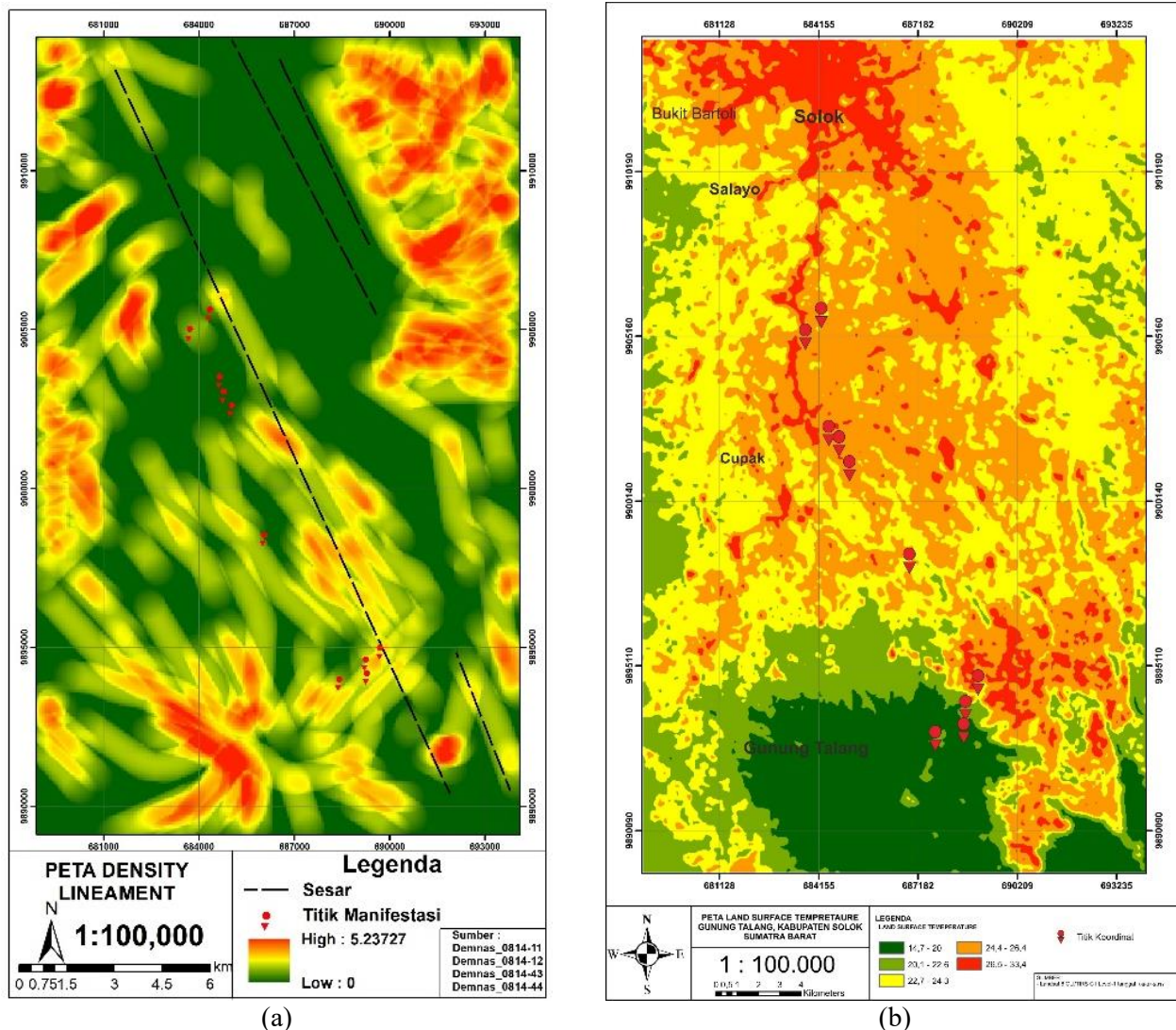


(a)



(b)

Gambar 5 (a) Peta kerapatan vegetasi (NDVI). (b) Peta persebaran suhu permukaan (LST)



Gambar 6 Lokasi keterdapat manifestasi panas bumi di-overlay dengan peta FFD (a) dan (b) LST

Berdasarkan analisis korelasi antara LST dengan manifestasi panas bumi (Gambar 6b) di atas dapat diasumsikan bahwa nilai distribusi suhu permukaan yang terhitung masih dipengaruhi oleh radiasi energi termal dari objek di Bumi. Untuk menghilangkan pengaruhnya, dapat dihitung nilai emisivitas dengan memanfaatkan indeks vegetasi (NDVI). Karena dalam hal ini NDVI merupakan citra yang mampu menunjukkan nilai kanopi atau indeks vegetasi di suatu wilayah. Semakin tinggi kerapatan vegetasi suatu kawasan, semakin tinggi pula nilai emisivitasnya. Kerapatan vegetasi juga sangat bergantung pada nilai temperatur permukaan. Vegetasi yang baik pada umumnya menunjukkan nilai temperatur yang rendah. Sedangkan kawasan vegetasi buruk seperti lahan marginal, pemukiman atau perkotaan memiliki nilai temperatur permukaan yang tinggi (Martha, 2018).

Kesimpulan

Penggunaan analisis densitas kelurusan pada daerah geotermal perlu mempertimbangkan kondisi geologi. Daerah dengan FFD tinggi dapat disebabkan oleh deformasi tektonik sebelumnya. Sementara itu, kemunculan manifestasi berkaitan dengan orientasi

struktur geologi utama di daerah penelitian. Suhu permukaan di daerah Gunung Talang-Bukit Kili berkisar 14,7 – 33,4°C. Persebaran suhu di permukaan bergantung pada keberadaan aktivitas geothermal, tutupan lahan dan vegetasi, serta aktivitas manusia. Oleh karena itu, perlu dibandingkan dengan peta NDVI serta citra Landsat 8 secara temporal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Udhi Catur Nugroho (LAPAN) atas masukan dalam proses analisis yang dilakukan pada penelitian ini.

Referensi

- Darmawan, I.G.B., Fahlevi, D.I., Yassar, M.F. dan Pramudya, F.A. (2021) Identifikasi Zona Reservoir Panas Bumi Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density Citra Digital Elevation Model Alos Palsar di Gunung Rajabasa. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 16 (2): 119-131.
- Dirjen EBTKE (2017) Potensi Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia [online]. Available at <https://www.ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasi-ebtke/sektor-panas-bumi/potensi>. Accessed on 20 February 2023.

- Hariyanto, T., & Robawa, F. N. (2016) Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 Serta Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Studi Kasus: Kawasan Gunung Lawu). *Geoid*. **12**(1): 36-42.
- Hidayat, R., Putra, A. (2014) Penentuan tipe fluida sumber mata air panas di Kecamatan Gunung Talang, Kabupaten Solok, *Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas*. **6** (2): 74-80.
- Idral, A., Kusnadi, D., Mustang, A., Muchlis, A. (2005) Penyelidikan terpadu geologi, geokimia, dan geofisika di daerah panas bumi Bukit Kili, Solok-Sumbar: Potensi, pemanfaatan dan kendalanya. *Kolokium Hasil Lapangan Subdit Panas Bumi*.
- Iqbal, M., & Juliarka, B. R. (2019) Analisis Kerapatan Kelurusan (*Lineament Density*) di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*. **3**(2): 61-67.
- Silitonga, P.H, Kastowo. (1995) *Peta Geologi Regional Lembar Solok Skala 1:250.000*, Badan Geologi.
- Mardyancilatia, M. D. (2014) Identifikasi Keberadaan Sistem Panas Bumi Menggunakan Data Magnetotelurik Di Daerah Prospek Panas Bumi Bukit Kili-Gunung Talang Sumatera Barat (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Nugroho, U. C., & Domiri, D. D. (2017) Identification of land surface temperature distribution of geothermal area in Ungaran Mount by using Landsat 8 imagery. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, **12** (2): 143-150.
- Putriyana, L., Soekarno, H. (2020) Numerical modelling of geothermal reservoir in Gunung Talang, West Sumatra, Indonesia, *Jurnal Riset dan Geologi Pertambangan*. **30** (1): 11-20
- Ramadhan, A., Tawakal, R., Widiatmoko, F.R., Oktoberiman (2015) Identification of geothermal potential based on Fault Fracture Density (FFD), geological mapping, and geochemical analysis, case study: Bantarkawung, Brebes, Central Java, *The 3rd Indonesia EBTKE – ConEx*.
- Suryantini, Wibowo, H.H. (2010) Application of Fault Fracture Density (FFD) method for geothermal exploration in non-volcanic geothermal system: A case study in Sulawesi-Indonesia, *Jurnal Geoaplika*. **5** (1): 27-37.
- USGS (2018) Using the USGS Landsat Level-1 Data Product [online]. Available at <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>. Accessed on 15 January 2023