

ANALISIS SUHU PERMUKAAN DAN KONDISI GEOMORFOLOGI KAWASAN GEOTERMAL TEHORU MENGUNAKAN LANDSAT-8 DAN DEM

SURFACE TEMPERATURE AND GEOMORPHOLOGY CONDITION ANALYSIS OF TEHORU GEOTHERMAL AREA USING LANDSAT-8 AND DEM

Salman Hamja Siombone^{1*}

¹Jurusan Pendidikan MIPA, STKIP Gotong Royong Masohi; Masohi Maluku Tengah, Maluku, Indonesia, 97514

Received: 2022, September 30th

Accepted: 2022, November 3rd

Keywords:

Geomorphology;

Geothermal;

Landsat-8;

Land Surface Temperature;

Lineament.

Correspondent Email:

salmansiombone@gmail.com

How to cite this article:

Siombone, S.H. (2022). Analisis Suhu Permukaan dan Kondisi Geomorfologi Kawasan Geotermal Tehoru Menggunakan Landsat-8 dan DEM. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 08(03), 210-224.

Abstrak. Penelitian menggunakan citra Landsat-8 dan DEM telah dilakukan untuk analisis suhu permukaan tanah (*land surface temperature/LST*) dan kondisi geomorfologi kawasan geotermal Desa Tehoru. Penelitian ini dilakukan pada area dengan luasan 71,23 km². Data citra Landsat-8 digunakan untuk analisis sebaran tutupan lahan dan LST. Sebaran tutupan lahan diperoleh berdasarkan klasifikasi nilai *normalized difference vegetation index* (NDVI). Data DEM digunakan untuk analisis kondisi geomorfologi daerah penelitian. Hasil analisis data menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh lahan campuran dengan nilai NDVI rata-rata berkisar antara 0,302 – 0,338. Nilai LST di area penelitian berkisar antara 7,660°C – 33,453°C. Hasil analisis peta LST menunjukkan anomali LST tinggian lebih dominan pada kawasan permukiman. Anomali LST di sekitar titik manifestasi geotermal hanya terdeteksi sebagian kecil karena pengaruh tutupan lahan. Hasil analisis model topografi dan morfometri permukaan menunjukkan bahwa relief bergelombang dengan kemiringan lereng yang curam mendominasi daerah penelitian. Hasil analisis kelurusan geomorfologi, menunjukkan bahwa titik-titik manifestasi geotermal dominan berada pada kawasan dengan tingkat kerapatan kelurusan yang tinggi. Penelitian ini secara langsung dapat memberikan informasi terkait tutupan lahan, LST, dan kondisi geomorfologi pada kawasan geotermal Desa Tehoru.

Abstract. The study using Landsat-8 and DEM imagery has been carried out to analyze the land surface temperature (LST) and geomorphological conditions of the Tehoru village geothermal area. This study was conducted in an area of 71.23 km². Landsat-8 imagery data is used to analyze the distribution of land cover and LST. The distribution of land cover was obtained based on the classification of normalized difference vegetation index (NDVI) values. DEM data is used to analyze the

© 2022 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

geomorphological conditions of the study area. The results of data analysis showed that the study area was dominated by mixed land with an average NDVI value ranging from 0.302-0.338. The land surface temperature in the study area ranged from 7.660°C to 33.453°C. The LST map analysis shows that the LST anomaly is more dominant in the residential area. The LST anomalies around the geothermal manifestation point were only detected partly due to the influence of land cover. The topographic model analysis and surface morphometry results show that wavy reliefs with steep slopes dominate the study area. The geomorphological lineament analysis results show that the dominant geothermal manifestation points are in areas with high lineament density. This study can directly provide information related to land cover, LST, and geomorphological conditions in the geothermal area of Tehoru village.

1. PENDAHULUAN

Tehoru adalah salah satu desa yang berada di pesisir selatan Pulau Seram. Desa Tehoru secara administratif berada di Kecamatan Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. Desa Tehoru merupakan salah satu desa yang memiliki prospek geothermal. Prospek geothermal Tehoru ditandai dengan adanya manifestasi geothermal di permukaan berupa mata air panas, alterasi batuan dan tanah beruap. Mata air panas Tehoru memiliki suhu permukaan yang berkisar dari 74°C–94.3°C (KESDM, 2017; Toisuta dkk., 2021). Keberadaan prospek geothermal Desa Tehoru diperkirakan memiliki keterkaitan dengan aktivitas tektonik kuat, yang disebabkan oleh tabrakan antara lempeng Pulau Seram dengan lempeng benua Australia yang menyebabkan pembentukan batuan terobosan (intrusi) di kedalaman sebagai sumber panas (*heat source*) pada sistem geothermal Tehoru. Selain itu, hasil dari tabrakan lempeng tersebut menghasilkan beragam struktur geologi di daerah ini, yaitu berupa struktur patahan dan lipatan. Struktur lipatan berupa antiklin, sedangkan struktur patahan berupa sesar mendatar, sesar normal dan sesar obliq (KESDM, 2017).

Struktur geologi yang kompleks menjadi penyebab keunikan kondisi geomorfologi di Daerah Tehoru. Kondisi geomorfologi di Daerah Tehoru nampak berupa bentangan alam dengan undulasi topografi mulai dari pantai, dataran, lembah, dan lereng curam hingga perbukitan. Daerah geothermal

Tehoru tersusun atas satuan geomorfologi perbukitan bergelombang dengan luas $\pm 95\%$, dan satuan pedataran dengan luas $\pm 5\%$ (Sulaeman dkk., 2010). Kondisi geomorfologi yang menantang dengan tutupan vegetasi yang lebat dapat menjadi suatu kendala dalam pengamatan maupun penyelidikan secara langsung terkait kedudukan dan penyebab keberadaan prospek geothermal di Desa Tehoru. Selain itu, kondisi topografi atau medan juga sangat mempengaruhi, akomodasi, lama waktu penelitian dan biaya penelitian.

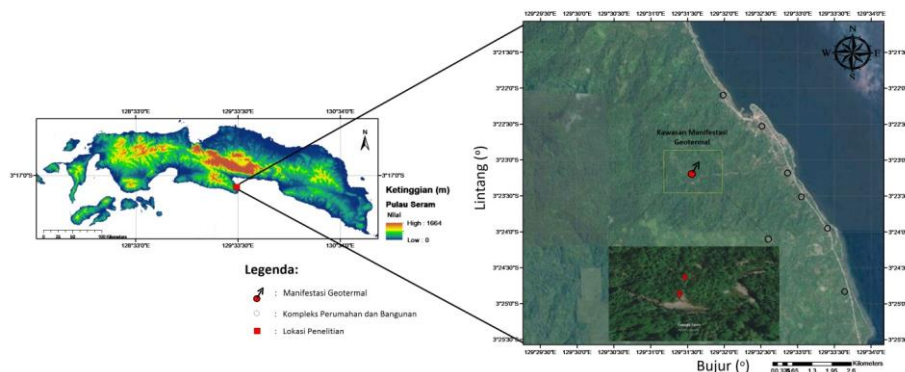
Penyelidikan geologi permukaan seperti pengamatan langsung (*ground check*) terkait kedudukan dan penyebab keberadaan prospek geothermal di Desa Tehoru sejauh ini masih terbilang minim. Salah satu faktor yang mempengaruhi minimnya pengamatan langsung terkait prospek geothermal di Desa Tehoru dipengaruhi oleh kondisi bentangan alamnya yang kompleks. Alternatif terbaik untuk penyelidikan permukaan tanpa harus dilakukan pengamatan langsung terkait prospek geothermal tersebut adalah dengan memanfaatkan metode penginderaan jauh. Metode penginderaan jauh telah banyak digunakan dalam eksplorasi geothermal, di antaranya untuk menentukan suhu permukaan tanah, bentuk topografi, kemiringan lereng, dan pola kelurusan geomorfologi di lokasi prospek geothermal, baik pada kawasan vulkanik maupun tektonik (Herlambang & Novranza 2016; Ramadhan & Saputra 2021). Penelitian terdahulu dengan metode penginderaan

jauh yang digunakan untuk mengungkapkan hubungan kondisi geomorfologi dan prospek geotermal di kawasan geotermal diantaranya dilakukan oleh Sukendar dkk. (2016) terkait analisis sebaran area prospektif geotermal Gunung Salak melalui aplikasi suhu permukaan tanah, indeks vegetasi dan geomorfologi; Bakruddin dkk. (2016) terkait analisis patahan pada lapangan geotermal Arjuno Welirang; Siombone dkk. (2021) terkait tutupan lahan, suhu permukaan tanah dan struktur geomorfologi di Kawasan Geotermal Tulehu; dan Asrafil dkk. (2022) terkait penyelidikan kontrol struktur geologi pada manifestasi geotermal di kawasan Lompio, Donggala, Sulawesi tengah. Hasil penelitian terdahulu terkait struktur geomorfologi pada kawasan geotermal di Indonesia sejauh ini terbilang sangat pesat, dan memberikan kontribusi ilmiah yang berarti.

Keberadaan prospek geotermal berupa mata air panas dan tanah beruap di Kawasan Geotermal Tehoru dapat dideteksi dengan memanfaatkan citra band *Thermal Infrared* (TIR) Landsat-8 melalui penentuan suhu permukaan tanah. Sedangkan kondisi geomorfologi dapat dikaji melalui pemodelan bentuk elevasi topografi,

kemiringan lereng daerah studi, dan kajian struktur kelurusan geomorfologi dengan memanfaatkan citra DEM SRTM (Siombone, 2021). Pola kelurusan geologi di permukaan bumi dapat mengindikasikan keberadaan struktur geologi seperti patahan dan rekahan yang mencirikan suatu proses tektonik di dalam kerak bumi. Struktur patahan dan rekahan tersebut dapat berfungsi sebagai zona yang potensial untuk meloloskan fluida (permeabel) bagi sirkulasi fluida panas pada sistem geotermal yang ditandai dengan kemunculan manifestasi di permukaan seperti mata air panas dan tanah beruap (Herlambang & Novranza, 2016; Han dkk., 2018).

Penelitian ini dilakukan di kawasan prospek geotermal Desa Tehoru, Kecamatan Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah dengan luas penelitian $\pm 71,23 \text{ km}^2$. Secara geografi penelitian ini berada pada zona 52 *Southern Hemisphere* dengan posisi $129^{\circ}29'25.98''\text{E}$ sampai $129^{\circ}33'59.00''\text{E}$ dan $3^{\circ}21'2.36''\text{S}$ sampai $3^{\circ}25'35.38''\text{S}$. Area penelitian beserta lokasi manifestasi geotermal Desa Tehoru ditunjukkan pada **Gambar 1**. Sedangkan titik mata air panas dan titik tanah beruap ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Lokasi manifestasi geotermal Desa Tehoru.



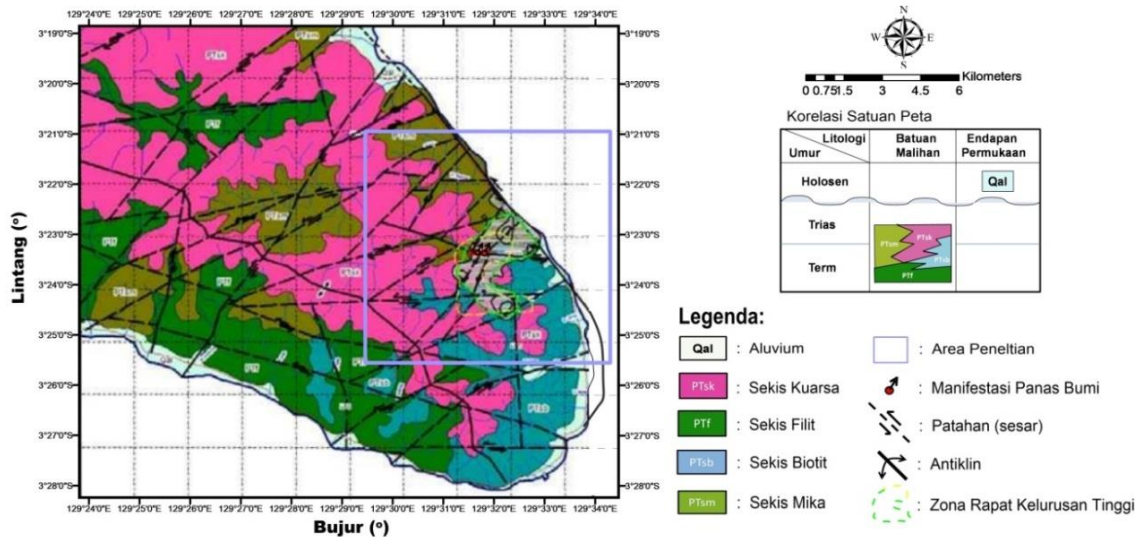
Gambar 2. (a) Titik mata air panas dan (b) Titik tanah beruap di kawasan geotermal Desa Tehoru.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Secara fisiografi Daerah Tehoru termasuk pada Busur Banda Dalam tidak bergunungapi yang disusun oleh formasi batuan malihan (metamorf) berumur Perm-Trias yaitu satuan filit, (PTf), sekis biotit (PTsb), sekis mika (PTsm), dan sekis kuarsa (PTsk) (KESDM, 2017). Daerah geotermal Desa Tehoru secara geologis merupakan kawasan tektonik yang dipengaruhi oleh tumbukan lempeng Pulau Seram dan lempeng benua Australia. Tumbukan lempeng tersebut memicu pembentukan beragam struktur geologi yang berkembang pada formasi batuan metamorf mulai dari struktur lipatan dan struktur patahan (lihat **Gambar 3**). Struktur lipatan yang terbentuk berupa antiklin, dengan orientasi relatif barat laut-tenggara, sedangkan struktur patahan terdiri dari dominan sesar mendatar, sesar obliq dan sesar normal. Sesar mendatar umumnya memiliki orientasi barat-timur, barat laut-tenggara

dan barat daya-timur laut. Sesar obliq memiliki orientasi relatif barat laut-tenggara, sedangkan sesar normal memiliki orientasi relatif utara-selatan (Sulaeman dkk., 2010; KESDM, 2017).

Struktur lipatan dan sesar-sesar yang berkembang di Kawasan geotermal Tehoru tersebut merupakan zona-zona lemah dan area prospektif yang bersifat permeabel dan dapat berfungsi sebagai jalur bagi sirkulasi fluida panas pada sistem geotermal. Aktivitas panas pada dapur magma dapat menerobos melalui rekah-rekahan (zona lemah) yang ada di sekitar jalur sesar pada Kawasan geotermal Tehoru, sehingga memicu munculnya manifestasi geotermal di permukaan, berupa mata air panas, tanah beruap dan alterasi batuan. Secara umum dapat dikatakan bahwa struktur geologi berupa sesar dan lipatan memiliki peran dalam mengontrol kemunculan manifestasi geotermal di Kawasan Geotermal Desa Tehoru (Sulaeman dkk., 2010).



Gambar 3. Peta Geologi Tehoru (Modifikasi dari KESDM, 2017).

Kompleksitas struktur geologi secara langsung berdampak pada kondisi geomorfologi di Desa Tehoru, yaitu berupa undulasi topografi yang menantang dengan tutupan vegetasi yang rapat. Kondisi medan dan tutupan vegetasi menjadikan metode penginderaan jauh sebagai solusi terbaik dalam penyelidikan terkait suhu permukaan

tanah dan kondisi geomorfologi di daerah prospek geotermal Tehoru. Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu, teknik dan seni untuk mendapatkan informasi atau data terkait keadaan fisik suatu objek, target, dan sasaran, serta gejala alam tanpa sentuhan atau kontak langsung dengan benda atau target tersebut (Soenarmo,

2009). Pengoperasian metode penginderaan jauh ini memanfaatkan data citra satelit berupa citra Landsat-8 dan DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Satelit Landsat-8 merupakan satelit observasi bumi yang dipelopori oleh NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dengan orbit polar tipe *sun-synchronous* dengan sudut inklinasi 98,2° pada ketinggian 705 km di atas khatulistiwa (USGS, 2016). Terdapat dua buah sensor pada Landsat-8 yaitu sensor OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Data dari kedua sensor tersebut terdiri atas kanal-kanal band yang memiliki fungsi yang berbeda-beda, dan dapat digunakan dalam pemantauan kondisi permukaan bumi sesuai spesifikasi dan kegunaannya masing-masing.

Data Landsat-8 sejauh ini, telah menunjukkan kemampuan dalam pemetaan dan pemantauan tutupan lahan dan kondisi biofisik permukaan tanah, perubahan temporal suhu permukaan tanah dan sifat-sifat geofisika. Data Landsat-8 sejauh ini, telah banyak digunakan dalam banyak penyelidikan kebumihuan mulai dari penyelidikan permukaan bumi yang berhubungan dengan geologi, geomorfologi sampai pada eksplorasi geotermal pada kawasan vulkanik maupun tektonik (Siombone dkk., 2021).

Data dari sensor OLI Landsat-8 berupa band 4 (cahaya tampak merah) dan band 5 (inframerah dekat) akan digunakan dalam penentuan tutupan lahan (*land cover*). Klasifikasi tutupan lahan didasarkan pada nilai NDVI (*normalized difference vegetation index*). Nilai NDVI merupakan rasio yang dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan seberapa rapat kondisi vegetasi di suatu kawasan (Azhari dkk., 2016). Sedangkan, suhu permukaan tanah (*lands surface temperature/LST*) akan ditentukan melalui pemanfaatan data band-10 (*thermal infrared 1*) pada sensor TIRS Landsat-8 (Mia dkk., 2017). Nilai NDVI dan LST telah banyak dimanfaatkan dalam eksplorasi geotermal di berbagai belahan bumi, terlebih lagi dalam pemantauan aktivitas termal pada kawasan vulkanik maupun

tektonik di Indonesia. Penelitian dengan pemanfaatan nilai NDVI dan LST telah diterapkan oleh Mia dkk. (2017) dalam monitoring aktivitas geotermal di kawasan vulkanik aktif, Aso Jepang; kemudian Zaini dkk. (2022) menerapkan nilai NDVI dan LST dalam eksplorasi potensi geotermal dari Gunung Api Peut Sague, Aceh Indonesia. Selain itu, pemanfaatan nilai NDVI dan LST telah diterapkan dalam eksplorasi geotermal di kawasan tektonik daerah geotermal Hatuasa Tulehu, Maluku, Indonesia oleh Siombone dkk. (2021) melalui penentuan tutupan lahan, suhu permukaan tanah dan kondisi geomorfologi pada kawasan tersebut. Aktivitas termal suatu permukaan yang terpantau melalui nilai LST pada area geotermal di kawasan vulkanik ataupun tektonik sangat dipengaruhi oleh tutupan lahan berdasarkan nilai NDVI. Hasil analisis nilai NDVI rendah dan LST tinggi sangat berkaitan dengan perubahan vegetasi dan status termal daerah geotermal (Zaini dkk., 2022).

Kajian kondisi geomorfologi baik itu bentuk model topografi, struktur dan pola kelurusan geomorfologi di daerah studi akan didalami dengan memanfaatkan data citra DEM. Data citra DEM merupakan data spasial yang dapat digunakan untuk memvisualisasikan kondisi topografi dan relief permukaan suatu kawasan. Aplikasi DEM pada eksplorasi geotermal dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan topografi dan struktur geologi (Ramadhan & Saputra, 2021). Data citra DEM SRTM dapat dibentuk menjadi model elevasi topografi 3D dan morfometri permukaan 3D. Selain itu, data DEM SRTM dapat digunakan untuk mengkaji struktur dan pola kelurusan geomorfologi (Siombone dkk., 2021). Kelurusan geomorfologi adalah kenampakan garis lurus (fitur linier) yang diekspresikan oleh jalur sungai atau lembah, dan diduga sebagai sesar atau rekahan.

Fitur kelurusan geomorfologi dapat mengindikasikan kemungkinan adanya struktur geologi yang dapat berupa sesar atau rekahan (Sukendar dkk., 2016). Jumlah kelurusan geomorfologi yang banyak di

suatu kawasan dapat mengindikasikan daerah tersebut cenderung memiliki banyak bukit dan bertekstur kasar, yang kemungkinan dipengaruhi oleh jenis batuan pada formasi geologi, maupun aktivitas struktur geologi yang berkembang pada daerah tersebut (Herlambang & Novranza, 2016). Struktur geologi seperti sesar dan rekahan yang terekspos di permukaan bumi merupakan jalur permeabilitas yang memungkinkan terjadinya sirkulasi fluida dalam sistem geotermal (Iswahyudi dkk., 2014).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan observasi lapangan, studi literatur, dan tahap pengolahan data. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit Landsat-8 (*path*: 108 dan *row*: 62) dan DEM SRTM yang diperoleh dari USGS-EROS (*U.S Geological Survey – Resources Observation and Science*). Terdapat tiga seri data Landsat-8 yang diunduh dengan waktu liputan yang berbeda. Data-data tersebut merupakan hasil rekaman satelit Landsat-8 pada 25 Mei 2015, 01 Mei 2018, dan 30 Desember 2019, dengan persentase tutupan awan (*cloud cover*) berturut-turut yaitu 3,51, 2,60 dan 3,35. Selain itu, terdapat data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Peta Geologi Lembar Tehoru (KESDM, 2017).

3.1. Pra Pengolahan Data (Pre-Processing)

Sebelum melakukan pengolahan terhadap citra *Landsat-8*, terlebih dahulu dilakukan deteksi awan. Data citra satelit dikategorikan baik atau memenuhi syarat apabila persentase tutupan awan lebih kecil dari 10% (Danoedoro, 2010). Deteksi awan dan kabut ini dilakukan sebelum pengunduhan data citra satelit dengan mempertimbangkan persentase tutupan awan. Penentuan persentase tutupan awan ini dilakukan dengan tujuan agar kualitas citra yang dipakai tetap terjaga, karena luas tutupan awan yang tinggi dapat menghilangkan sejumlah informasi permukaan bumi yang sesungguhnya.

3.2. Pengolahan Data (Processing)

Proses pengolahan data dibedakan menjadi dua tahapan utama, yaitu pengolahan citra *Landsat-8* dan pengolahan citra DEM SRTM. Pengolahan data citra *Landsat-8* dilakukan untuk menentukan nilai NDVI dan nilai LST dari daerah prospek geotermal Tehoru. Sedangkan, pengolahan data citra DEM SRTM dilakukan untuk melakukan pemodelan topografi, pemodelan morfometri permukaan dan penentuan pola sebaran kelurusan geomorfologi di daerah geotermal Tehoru.

3.2.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Sebelum dilakukan perhitungan nilai NDVI, terlebih dahulu dilakukan koreksi radiometrik terhadap data citra band 4 (*Visible Red*) dan band 5 (*NIR*). Koreksi radiometrik bertujuan untuk mereduksi kesalahan perekaman nilai pantulan sinar matahari dengan cara merubah nilai *Digital Number* (DN) menjadi nilai *Top of Atmosphere* (ToA) *Reflectance*. Setelah koreksi radiometrik dilakukan maka nilai NDVI dapat ditentukan dengan persamaan 1 atau 2, berikut:

$$NDVI = \frac{Float(NIR - Visible\ Red)}{Float(NIR + Visible\ Red)} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (2)$$

Dimana, ρ_{NIR} adalah Reflektansi *Near Infrared* (band 5) dan ρ_{red} adalah Reflektansi *Visible Red* (band 4).

Hasil ekstraksi dari proses algoritma NDVI yang diperoleh akan menghasilkan rentang nilai antara -1 sampai 1, yang akan digunakan untuk merepresentasikan kondisi tutupan lahan (kerapatan vegetasi) suatu kawasan. Klasifikasi nilai NDVI untuk analisis tingkat kerapatan vegetasi dalam penelitian ini mengadopsi hasil penelitian Mia dkk. (2017), seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi NDVI (Mia dkk., 2017).

Nilai NDVI	Keterangan
$NDVI < 0,00$	Badan Air atau Awan
$0,00 \leq NDVI \leq 0,20$	Tanah / Lahan terbuka
$0,20 \leq NDVI \leq 0,50$	Lahan Campuran
$NDVI > 0,50$	Vegetasi Rapat

3.2.2. Land Surface Temperature (LST)

Nilai *LST* merupakan keadaan atau kondisi dari suhu permukaan rata-rata suatu kawasan yang dikontrol langsung oleh keseimbangan energi permukaan, atmosfer, sifat termal dari permukaan, dan media bawah permukaan tanah (Faridah & Krisbantor, 2014). Untuk memperoleh sebaran nilai *LST* pada area penelitian, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap nilai *NDVI*, Fraksi Vegetasi (*Pv*), emisivitas tanah (ϵ) dan Kecerahan Temperatur Satelit (*BT*).

Setelah diperoleh nilai *NDVI*, tahapan selanjutnya yaitu penentuan nilai Fraksi Vegetasi atau *Proportion of Vegetation* (*Pv*) yang ditentukan melalui persamaan (3), berikut:

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (3)$$

Dimana, *NDVI* adalah nilai *NDVI* untuk setiap pixel, *NDVI_{max}* adalah representasi dari *NDVI* Vegetasi, dan *NDVI_{min}* adalah representasi dari *NDVI* tanah atau objek yang mengandung air.

Nilai *Pv* yang diperoleh tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan nilai emisivitas (ϵ). Perhitungan nilai emisivitas dilakukan dengan menggunakan persamaan (4), berikut:

$$\epsilon = m \cdot Pv + n \quad (4)$$

Dengan, $m = \epsilon_v - \epsilon_s - (1 - \epsilon_s)F\epsilon_v$, $n = \epsilon_s + (1 - \epsilon_s)F\epsilon_v$. Dimana ϵ_s adalah emisivitas tanah (*soil*) dan bernilai 0,97, dan ϵ_v adalah emisivitas vegetasi dan bernilai 0,99, sedangkan *F* adalah *factor shape* dengan asumsi distribusi geometris yang berbeda dan bernilai 0,55, Sabrino (Qin dkk., 2011). Melalui persamaan di atas, sehingga diperoleh:

$$\epsilon = 0,0037 \cdot P_v + 0,98 \quad (5)$$

Nilai *LST* dihitung dengan mengolah data citra *thermal band* sensor TIRS-2 pada *Landsat-8*, yaitu *band 10*. Untuk memperoleh nilai *LST*, langkah awal harus dilakukan koreksi *radiance* yang dilakukan mengubah nilai *DN* menjadi nilai *ToA Radiance* menggunakan persamaan (6), berikut:

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (6)$$

di mana, L_λ adalah *ToA radiance Thermal band* ($W \cdot m^{-2} \cdot srad^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), M_L adalah faktor skala pengali *radiance* pada *band 10*, Q_{cal} adalah nilai *DN* tiap piksel, dan A_L adalah faktor skala penjumlah *radiance* pada *band*.

Band 10 yang telah terkoreksi *radiance*, kemudian digunakan dalam perhitungan untuk memperoleh kecerahan temperatur atau *Brightness Temperature* (*BT*) satelit. Perhitungan nilai kecerahan temperatur dilakukan menggunakan persamaan (7), berikut:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_\lambda}\right)} - 273,15 \quad (7)$$

dimana, *BT* adalah kecerahan temperatur sensor satelit ($^{\circ}C$), L_λ adalah spektral *radiance thermal band* ($W \cdot m^{-2} \cdot srad^{-1} \cdot \mu m^{-1}$), K_1 adalah konstanta konversi *thermal 1* untuk *band*, dan K_2 adalah konstanta konversi *thermal 2* untuk *band*.

Data *BT* yang diperoleh kemudian digunakan dalam perhitungan untuk memperoleh nilai *LST*. Nilai *LST* dihitung dengan persamaan yang diberikan oleh Jimenez-Munoz & Sobrino (Qin dkk., 2011) seperti pada persamaan (8), berikut:

$$LST = \frac{BT}{1 + (\lambda_{band10,11} \cdot \frac{BT}{h \cdot c}) \ln \epsilon} \quad (8)$$

dengan, *LST* adalah suhu permukaan tanah ($^{\circ}C$), *BT* adalah kecerahan temperatur sensor satelit ($^{\circ}C$), λ adalah panjang gelombang emisi *radiance*, $\lambda_{Band 10} = 10,89 \mu m$, h adalah konstanta Planck, $6,626 \times 10^{-34} Js$, c adalah kecepatan cahaya, $2,998 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$, j adalah konstanta Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23} J^{\circ}C^{-1}$ dan ϵ adalah nilai emisivitas tanah.

3.2.3. Struktur Geomorfologi

Kondisi struktur geomorfologi di daerah Penelitian akan dikaji dengan memanfaatkan data citra DEM SRTM. Data DEM SRTM untuk daerah studi akan diolah menjadi model topografi 3D, model morfometri 3D, dan peta kelurusan struktur geomorfologi. Pengolahan model topografi 3D, model morfometri 3D dan peta kelurusan struktur memanfaatkan aplikasi

Global Mapper v.19. Model topografi 3D digunakan untuk memvisualisasikan ketinggian atau relief permukaan daerah studi. Model morfometri 3D daerah penelitian digunakan untuk mengklasifikasi kemiringan lereng. Klasifikasi kelas kemiringan lereng serta representasi warna dari kemiringan mengacu pada saran dan penelitian Van Zuidam tahun 1985. Klasifikasi kemiringan lereng ditunjukkan pada **Tabel 2**. Sedangkan peta kelurusan

geomorfologi di area penelitian dibentuk melalui analisis kelurusan secara visual pada kelurusan lembahan dengan *azimuth* 45° dan *dip* 90°. Data hasil penarikan kelurusan tersebut kemudian di input dalam aplikasi *Dips* 7.0 untuk membentuk diagram Roset. Hasil dari diagram Roset digunakan untuk menyimpulkan arah dominan dari sebaran kelurusan di daerah penelitian.

Tabel 2. Penggolongan kemiringan lereng oleh Van Zuidam pada 1985.

Kelas Kemiringan	Identifikasi Karakteristik Medan	Rekomendasi Warna
0 deg – 2 deg	Kawasan yang datar atau hampir datar, tidak terdapat erosi besar.	Hijau tua-sedang
2 deg – 4 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng landai atau sedikit miring (<i>gently slope</i>), bila longsor terjadi, tanah, atau material bergerak dengan kecepatan rendah.	Hijau Cerah
4 deg – 8 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng landai sampai curam, bila longsor terjadi, tanah atau material bergerak dengan kecepatan rendah, rawan erosi.	Kuning Cerah
8 deg – 16 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng cukup curam (<i>moderately steep</i>), rawan longsor, terjadi erosi permukaan.	Oranye
16 deg – 35 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng curam sampai terjal, sering terjadi erosi dan gerakan tanah dengan kecepatan yang perlahan-lahan, serta rawan erosi dan longsor.	Merah Cerah
35 deg – 55 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng terjal, sering ditemukan singkapan batuan, rawan erosi.	Merah Tua-Sedang
> 55 deg	Kawasan dengan kemiringan lereng terjal, terdapat singkapan batuan dipermukaan, rawan longsor batuan.	Ungu Tua

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengolahan yang diperoleh akan disajikan dalam pembahasan beberapa subtopik utama yaitu peta NDVI, peta LST, Hubungan antara NDVI dan LST, model 3D daerah studi (topografi dan morfometri permukaan), dan peta kelurusan geomorfologi. Hasil dari pengolahan data ini akan dijadikan acuan dalam penentuan area dan kedudukan atau posisi dari prospek geotermal yang ada di Desa Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah.

4.1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Klasifikasi nilai NDVI dalam penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan kondisi tutupan lahan (*land cover*) di area penelitian. Nilai NDVI diklasifikasikan ke

dalam empat golongan yang mengacu pada penelitian Mia dkk. (2017), yaitu (1) awan atau objek yang mengandung air ($NDVI < 0,00$), (2) tanah atau lahan terbuka ($0,00 \leq NDVI \leq 0,20$), (3) lahan campuran ($0,20 \leq NDVI \leq 0,500$) dan (4) lahan bervegetasi rapat ($NDVI > 0,50$). Penelitian ini menggunakan tiga buah data NDVI dari hasil perekaman atau peliputan satelit dalam seri waktu yang berbeda dengan tujuan untuk validasi kualitatif terhadap *trend* tutupan lahan di daerah penelitian. *Trend* tutupan lahan untuk selang waktu yang berbeda dapat memberikan gambaran terkait kondisi perubahan vegetasi yang disebabkan oleh gejala alam atau bukan alam (aktivitas manusia) pada fitur-fitur permukaan yang ada di area penelitian.

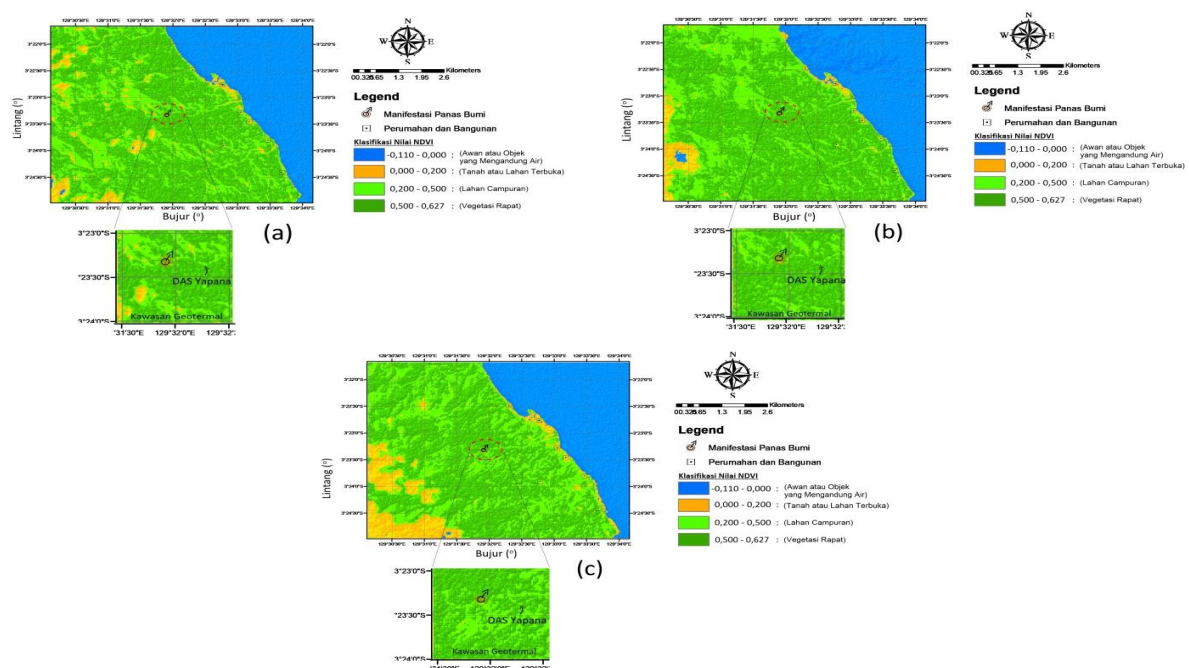
Berdasarkan **Tabel 3**, Desa Tehoru memiliki nilai NDVI yang berkisar dari -

0,110 sampai 0,627. Sedangkan rata-rata nilai NDVI di Desa Tehoru berturut-turut dari tahun 2015, 2018 dan 2019 yaitu 0,327, 0,338 dan 0,302. Kondisi ini mengekspresikan bahwa tutupan lahan di Desa Tehoru dominan berada pada lahan campuran. **Gambar 4** merupakan tampilan tutupan lahan di Desa Tehoru yang disajikan berdasarkan hasil liputan satelit pada tahun 2015 (**Gambar 4a**), 2018 (**Gambar 4b**), dan 2019 (**Gambar 4c**). Tutupan lahan pada daerah Tehoru sebagaimana ketiga hasil liputan satelit pada **Gambar 4a**, **Gambar 4b**, dan **Gambar 4c** menunjukkan terjadinya perubahan tutupan lahan yang tinggi khususnya di sekitar daerah perumahan warga dan pusat desa. Lokasi perumahan warga tampak jelas berupa lahan campuran hingga lahan terbuka di pesisir dekat pantai. Pada

Gambar 4a dan **Gambar 4b** daerah prospek geotermal Tehoru tampak berada pada daerah dominan vegetasi dengan sedikit lahan campuran pada daerah aliran sungai (DAS) Yapana. Sedangkan pada **Gambar 4c** terlihat bahwa tutupan lahan pada daerah prospek geotermal Tehoru didominasi oleh lahan campuran, tepat di sebelah Selatan dari manifestasi geotermal. Kondisi ini menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan tutupan lahan yang berarti (mencolok) di sekitar kawasan manifestasi geotermal dari tahun 2015 ke 2019. Di sebelah barat dan barat daya dari daerah penelitian pada **Gambar 4b** dan **Gambar 4c** menunjukkan adanya tutupan awan sehingga informasi terkait kondisi vegetasi yang ada di daerah tersebut tidak terekap dengan baik.

Tabel 3. NDVI di daerah penelitian.

Data Liputan Satelit Landsat-8	Nilai NDVI		Rata-rata nilai NDVI di Area Penelitian
	Minimum	Maksimum	
25 Mei 2015	-0,108	0,618	0,327
01 Mei 2018	-0,110	0,627	0,338
30 Desember 2019	-0,071	0,612	0,302



Gambar 4. Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan nilai NDVI Desa Tehoru: (a) Liputan satelit 25 Mei 2015, (b) Liputan satelit 01 Mei 2018, dan (c) Liputan satelit 30 Desember 2019.

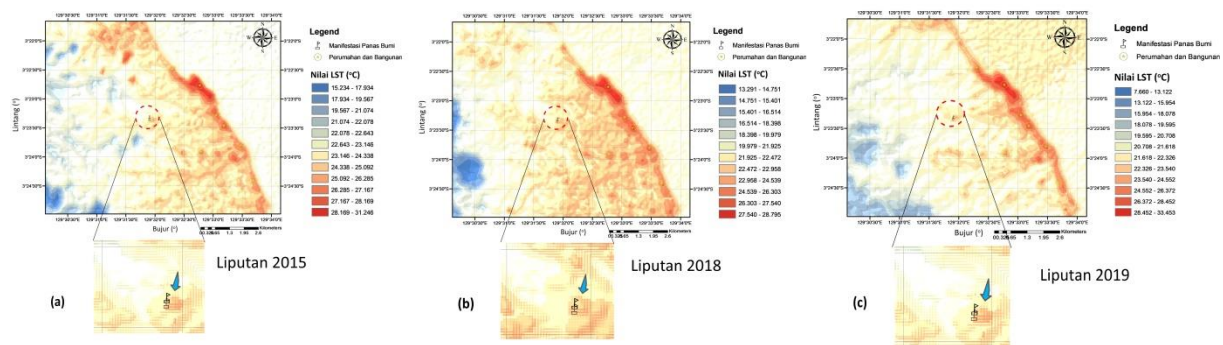
4.2. Land Surface Temperature (LST)

LST menunjukkan kondisi termal permukaan tanah di daerah penelitian yang diperoleh berdasarkan serangkaian hasil pengolahan data citra Band 10 (TIR-2) Landsat-8. Berdasarkan hasil analisis data suhu permukaan tanah (LST) di Desa

Tehoru, diperoleh nilai LST berkisar antara 7,660 °C sampai 33,453 °C. **Tabel 4**, menunjukkan bahwa rata-rata nilai LST Desa Tehoru berdasarkan hasil liputan satelit tahun 2015, 2018, dan 2019 condong konstan yaitu 23,312 °C, 22,255 °C, dan 22,245 °C.

Tabel 4. LST di daerah penelitian.

Data Liputan Satelit Landsat-8	Nilai LST (°C)		Rata-rata nilai LST di Area Penelitian (°C)
	Minimum	Maksimum	
25 Mei 2015	15,234	31,246	23,312
01 Mei 2018	13,292	28,795	22,255
30 Desember 2019	7,660	33,453	22,245



Gambar 5. Peta sebaran LST Desa Tehoru: (a) Liputan satelit 25 Mei 2015, (b) Liputan satelit 01 Mei 2018, dan (c) Liputan satelit 30 Desember 2019.

Berdasarkan hasil analisis **Gambar 5 (a, b, dan c)** tampak bahwa anomali LST paling tinggi terdistribusi merata di daerah pemukiman atau perumahan warga, dan tentunya lebih tinggi lagi di pusat pemukiman Desa Tehoru. Kondisi anomali LST yang tinggi ini disebabkan oleh lahan terbuka, bangunan, perumahan warga, serta pantulan dari atap rumah warga, dan aktivitas-aktivitas lainnya yang dilakukan oleh manusia. Sedangkan, kondisi anomali LST pada kawasan geotermal Desa Tehoru tampak hanya berupa titik kecil anomali LST sedang di sekitar anomali LST rendah. Anomali LST sedang yang disebabkan oleh aktivitas manifestasi permukaan ini condong lebih nampak di sebelah timur dari titik-titik mata air panas yang diplot. Anomali LST yang lebih dominan ini berasal dari aktivitas panas dari tanah beruap yang ada di sebelah timur dari titik-titik mata air panas. Selain itu, anomali LST dari manifestasi permukaan Desa Tehoru (mata

air panas dan tanah beruap) tidak begitu terangkap dengan baik, kondisi ini disebabkan oleh tutupan vegetasi di sekitar kompleks manifestasi permukaan tersebut. Tutupan lahan di sekitar kawasan manifestasi geotermal Desa Tehoru jika ditelisik berdasarkan data klasifikasi tutupan lahan dari nilai NDVI menunjukkan berada pada kawasan dengan dominan lahan campuran.

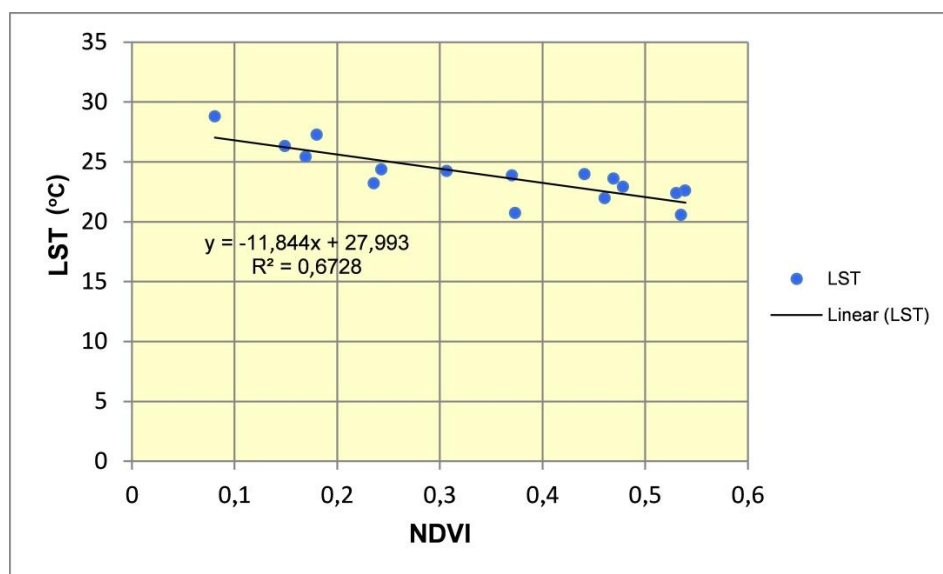
4.3. Hubungan antara NDVI dan LST

Berdasarkan data pada peta sebaran tutupan lahan (klasifikasi nilai NDVI) dan peta sebaran anomali LST, dapat dikorelasikan hubungan antara keduanya. Korelasi antara nilai NDVI dan anomali LST dilakukan dengan memanfaatkan data hasil liputan satelit yang memiliki persentase tutupan awan terendah yaitu 2,60 (liputan tanggal 01 Mei 2018), bertujuan agar data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi yang sebenarnya di lapangan. Hasil Analisis menunjukkan hubungan antara

nilai NDVI dan anomali LST memiliki pola regresi berupa grafik negatif linear yaitu $-11,844$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,672$ atau 67,2 %, (lihat **Gambar 6**).

Kondisi pada **Gambar 6** secara umum menunjukkan terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara nilai NDVI (indeks vegetasi) dengan kondisi anomali LST di kawasan geotermal Desa Tehoru, dengan koefisien determinasi hubungan keduanya R^2 yang dapat dipercaya. Berdasarkan **Gambar 6**, dapat dilihat

bahwa tutupan lahan (klasifikasi NDVI) memiliki pengaruh secara langsung terhadap anomali LST di kawasan penelitian. Dimana, daerah dengan nilai NDVI tinggi condong memiliki nilai LST yang rendah, sedangkan daerah dengan nilai NDVI rendah condong memiliki nilai LST yang tinggi. Kondisi ini mengekspresikan keadaan dimana semakin tinggi rapat vegetasi di suatu kawasan maka semakin rendah atau kecil suhu permukaan tanahnya (Maharani dkk., 2021).



Gambar 6. Grafik Hubungan NDVI dan LST.

4.4. Model 3D Daerah Penelitian

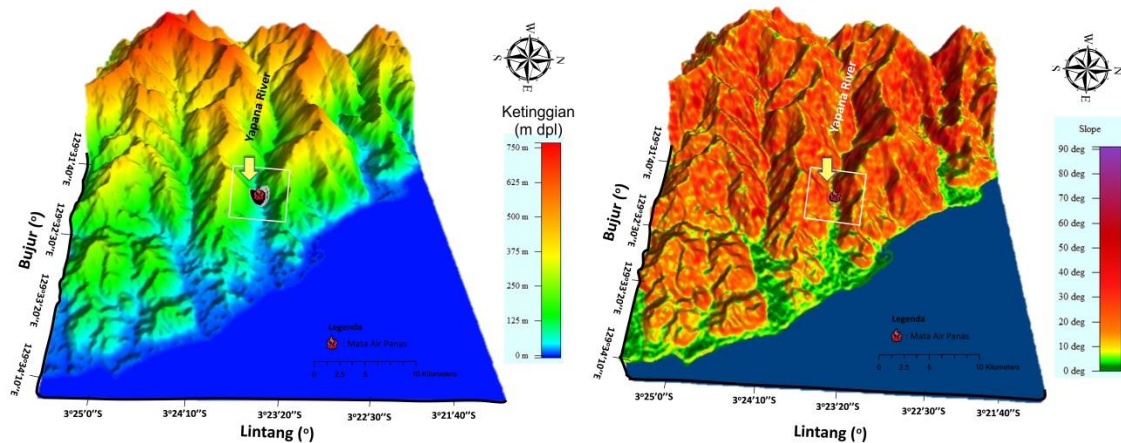
Pemodelan 3D daerah penelitian dikaji dalam dua bentuk tampilan utama yaitu model 3D topografi (**Gambar 7a**) dan model 3D morfometri permukaan (**Gambar 7b**). Berdasarkan **Gambar 7a**, diketahui bahwa topografi di daerah penelitian membentang dari ketinggian 0,1 m dpl sampai 750 m dpl. Topografi Desa Tehoru tampak berupa relief permukaan yang bergelombang dengan sedikit dataran rendah di wilayah pesisir dan lebih didominasi oleh perbukitan dataran tinggi. Titik-titik manifestasi geotermal berada pada kawasan datar di sekitar lembah DAS Yapana dan diapit oleh perbukitan dataran tinggi.

Berdasarkan **Gambar 7b** nampak tampilan morfometri permukaan daerah penelitian dengan kemiringan lereng dari 0

deg sampai 65 deg. Jika rentang kemiringan lereng ini digolongkan maka daerah penelitian memiliki kemiringan permukaan mulai dari datar (0 deg – 2 deg) sampai kemiringan lereng yang terjal (> 55 deg). Berdasarkan analisis terhadap tampilan 3D morfometri permukaan, daerah penelitian lebih didominasi oleh daerah dengan kemiringan yang terjal (35 deg – 55 deg) dan hanya terdapat sebagian kecil daerah dengan kemiringan permukaan yang datar hingga lereng landai (0 deg – 8 deg) yaitu di daerah kawasan permukiman warga dan sekitar DAS. Kawasan manifestasi geotermal Desa Tehoru pada **Gambar 7b** nampak berada pada daerah dengan kemiringan datar hingga terjal pada lembah DAS Yapana yang diapit secara langsung oleh perbukitan dengan kemiringan terjal. Kondisi

kemiringan lereng di kawasan manifestasi geothermal Desa Tehoru sangatlah unik dan menantang sehingga menjadi sebuah tantangan tersendiri dalam proses

pengamatan langsung ataupun eksplorasi geologi dan geofisika terkait keberadaan titik-titik manifestasi permukaan secara langsung.



Gambar 7. (a) Model 3D topografi daerah prospek geothermal Teheoru dan (b) Model 3D morfometri permukaan daerah prospek geothermal Teheoru.

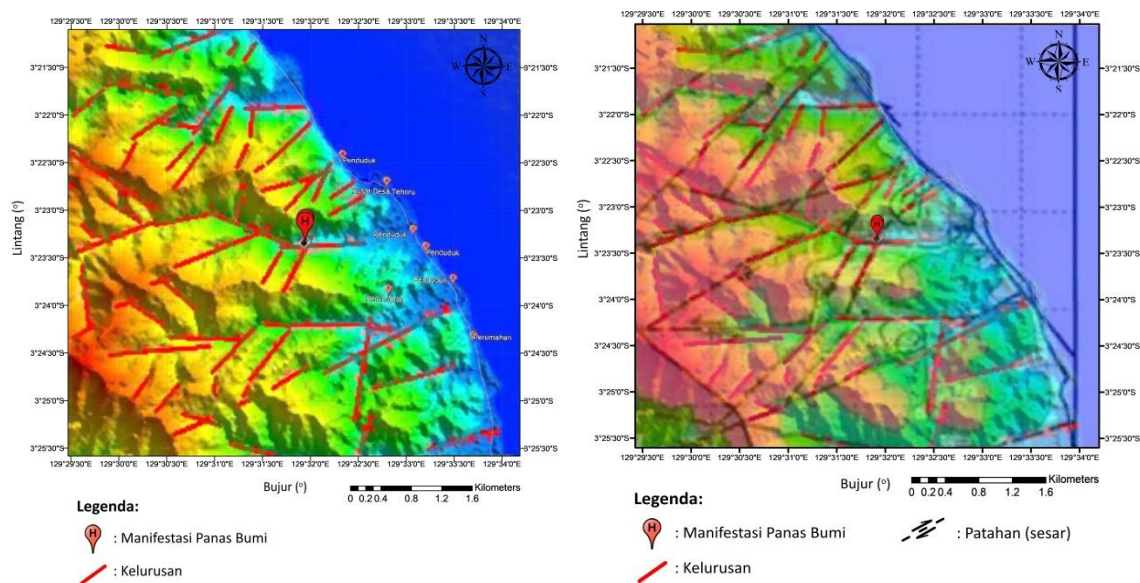
4.5. Kelurusan Geomorfologi

Kelurusan geomorfologi yang dikaji dalam penelitian ini adalah kelurusan lembahan dengan *azimuth* 45°. Kelurusan dalam pengertian ini adalah kenampakan fitur (garis) lurus yang diekspresikan oleh jalur sungai atau lembah yang diperkirakan sebagai sesar atau rekahan. Struktur geologi seperti kelurusan lembahan yang berhasil diidentifikasi dan ditarik dalam penelitian ini adalah sebanyak 64 garis dengan ukuran panjang yang bervariasi (**Gambar 8a**). Kelurusan ini nampak berupa garis lurus berwarna merah di sepanjang lembahan atau sungai di area penelitian.

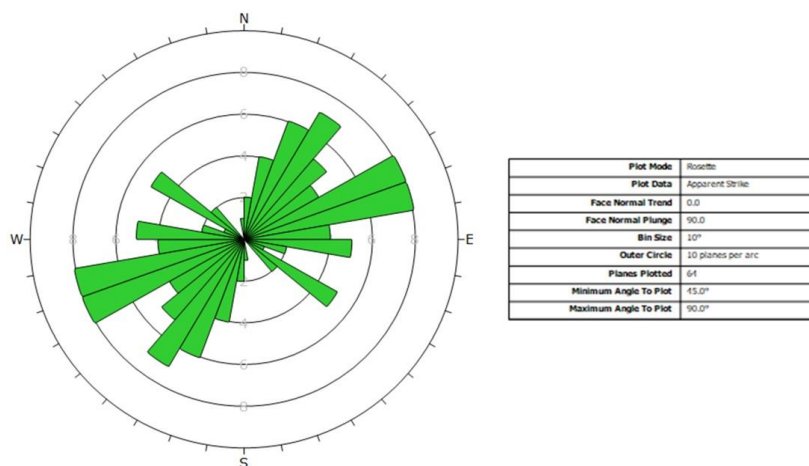
Selanjutnya pada **Gambar 8b** nampak *overlay* peta kelurusan lembahan terhadap peta geologi Daerah Tehoru. Terlihat bahwa hasil *overlay* menunjukkan adanya korelasi antara garis-garis kelurusan dengan struktur geologi berupa patahan atau sesar (garis lurus hitam) di sekitar kawasan geothermal Desa Tehoru. Garis-garis kelurusan ini nampak berimpit dengan struktur-struktur sesar yang ada. Sebagaimana menurut Herlambang dan Novranza (2016) bahwa kelurusan tersebut dapat mencirikan keberadaan struktur geologi berupa patahan dan kekar (rekahan). Struktur patahan dan rekahan

tersebut merupakan zona lemah yang dapat berfungsi sebagai area permeabel dalam proses sirkulasi fluida panas dari bawah permukaan bumi menuju ke permukaan pada suatu sistem geothermal (Iswahyudi dkk., 2014). Daerah dengan rapat kelurusan yang tinggi merupakan kawasan yang memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi (Iqbal & Juliarka, 2019). Hal ini nampak jelas pada peta di **Gambar 8a** dan **Gambar 8b**, dimana manifestasi geothermal di permukaan berupa mata air panas dan tanah beruap bermunculan pada daerah dengan rapat kelurusan yang tinggi.

Rangkuman dari kelurusan-kelurusan yang ada di daerah penelitian kemudian dituangkan dalam diagram roset (lihat **Gambar 9**). Diagram roset ini digunakan untuk melihat orientasi dominan dari sebaran kelurusan di kawasan geothermal Tehoru. Berdasarkan hasil analisis diagram roset yang diperoleh, orientasi kelurusan di kawasan penelitian dominan berarah Barat Dayat-Timur Laut. Arah ini sesuai dan terkonfirmasi jelas dengan orientasi dari struktur geologi berupa sesar mendatar dan rekahan-rekahan yang ada di kawasan geothermal Desa Tehoru.



Gambar 8. (a) Peta kelurusan lembahan dan (b) Peta *overlay* kelurusan lembahan.



Gambar 9. Diagram roset kelurusan lembahan *azimuth* 45°.

4.6. Hubungan LST dengan Kondisi Geomorfologi

Berdasarkan hasil analisis data pada peta LST (**Gambar 5**) dan struktur kelurusan geomorfologi pada **Gambar 8**, diperoleh hubungan bahwa pada area dengan rapat kelurusan yang tinggi, muncul beberapa manifestasi geotermal di permukaan berupa mata air panas dan tanah beruap. Keberadaan mata air panas dan tanah beruap dapat dipantau pada peta LST berupa adanya titik pixel dengan anomali LST yang cenderung lebih kontras dibandingkan area di sekitarnya. Keberadaan anomali LST yang kontras pada

area manifestasi geotermal Desa Tehoru tidak sepenuhnya dapat dipantau dengan baik, hanya berupa titik pixel kecil yang akan tampak ketika gambar diperbesar (*zoom in*), hal ini karena adanya pengaruh tutupan lahan pada kawasan tersebut. Kondisi tampilan geomorfologi permukaan pada model topografi (**Gambar 7a**) dan model morfometri permukaan (**Gambar 7b**) menunjukkan bahwa kawasan geotermal Desa Tehoru berada pada kawasan dengan topografi bergelombang dan didominasi oleh kemiringan lereng yang terjal.

Fitur kelurusan geomorfologi pada kawasan geotermal Desa Tehoru tampak begitu rapat (**Gambar 8**). Eksistensi dari fitur kelurusan, dapat menunjukkan atau mengisyaratkan keterdapatannya struktur geologi yang dapat berupa patahan (sesar) atau rekahan (kekar). Kawasan dengan frekuensi kelurusan yang tinggi merupakan daerah zona lemah, dimana pada kawasan ini dapat menjadi jalur (*path way*) bagi fluida termal menuju ke permukaan, dan membentuk manifestasi geotermal di permukaan seperti mata air panas dan tanah beruap. Keterdapatannya struktur geologi permukaan berupa kelurusan geomorfologi yang melintasi atau memotong reservoir secara langsung dapat menyebabkan fluida termal keluar menuju ke permukaan dan membentuk manifestasi geotermal (Sukendar dkk., 2016). Daerah dengan rapat kelurusan geomorfologi yang tinggi mengisyaratkan bahwa daerah tersebut cenderung memiliki tampilan permukaan yang berbukit-bukit dan bertekstur kasar dan banyak memiliki zona lembah yang disebabkan oleh aktivitas pensesaran (Herlambang & Novranza, 2016). Kondisi geomorfologi yang kasar tersebut terkonfirmasi pada **Gambar 7** yang menunjukkan kondisi permukaan kawasan geotermal Tehoru dengan ciri bergelombang dengan kemiringan lereng yang terjal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi terkait suhu permukaan tanah dan kondisi geomorfologi di kawasan geotermal Desa Tehoru, maka penelitian ini memiliki kesimpulan sebagai berikut:

- a. Anomali LST yang tinggi pada area penelitian dominan berada pada kawasan pemukiman dan lahan terbuka, sedangkan pada kawasan manifestasi geotermal hanya tampak sebagian kecil ketika gambar diperbesar, hal ini dipengaruhi tutupan lahan yang ada pada kawasan tersebut.
- b. Hubungan tutupan lahan (klasifikasi NDVI) dengan anomali LST pada kawasan geotermal Tehoru memiliki

pola regresi berupa grafik negatif linear yaitu saling berbanding terbalik.

- c. Manifestasi geotermal di permukaan seperti mata air panas dan tanah beruap pada kawasan geotermal Tehoru berada pada area datar di lembahan DAS Yapana yang diapit oleh perbukitan dengan kemiringan yang terjal.
- d. Manifestasi permukaan berupa mata air panas dan tanah beruap pada kawasan geotermal Desa Tehoru condong berada pada area dengan rapat kelurusan yang tinggi. Kelurusan ini dapat berupa sesar dan rekahan yang memiliki orientasi dominan berarah Barat-Dayat ke Timur - Laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak USGS-EROS (*U.S Geological Survey – Resources Observation and Science*) yang telah menyediakan data Citra satelit Landsat-8 dan DEM SRTM secara terbuka sehingga dapat membantu penulis dalam mengakses data-data yang dimaksud.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrafil, Mukaddas, A., Listianti, A., Prawiro, W., & Jamil, R. (2022). Investigasi Kontrol Struktur Geologi Pada Manifestasi Geotermal di Daerah Lompio, Donggala, Sulawesi Tengah. *Jurnal GEOSAPTA* Vol. 8 No. 1 Januari 2022.
- Azhari, A. P., Maryanto, S., & Rahmansyah, A. (2016). Identification of geological structure and its effect on land surface temperature based on Landsat-8 data on the Blawan geothermal field. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. 13(1), 1–11.
- Bakruddin, Utama, W., Warnana, D.D. (2016). Penggunaan Citra Satelit Landsat-8 Untuk Analisa Patahan Pada Lapangan Panas Bumi Arjuno Welirang Provinsi Jawa Timur. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah IX (ATPW), Geomatika, pp (1 – 37) – (1 - 44)
- Danoedoro. (2012). Pengantar Penginderaan jauh digital. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2012.
- Faridah, S. A. N., & Krisbiantoro, A. (2014). Analisis Distribusi Temperatur Permukaan Tanah Wilayah Potensi Geotermal Menggunakan Teknik Penginderaan Jauh di Gunung Lamongan, Tiris-Probolinggo, Jawa Timur. *Berkala Fisika*, 17(2), 67-72

- Han, L., Liu, Z., Ning, Y., Zhao, Z. (2018). Extraction and analysis of geological lineaments combining a DEM and remote sensing images from the northern Baoji loess area. *Advances in Space Research*. 62(9), 2480-2493.
<https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.07.030>
- Herlambang, R.F., & Novranza, K.M.S. (2016). Pemetaan Kelurusan Menggunakan Remote Sensing dan Korelasinya Terhadap Distribusi Manifestasi Permukaan di Daerah Potensi Geothermal Kepahiang, Bengkulu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*. 3(1), 57-64.
- Iswahyudi, S., Saepuloh, A., Widagdo, A. (2014). Delineating Outflow Zones Using Linear Features Density (LFD) Derived From Landsat Imagery at Paguyangan, Brebes, Central Java. *Proceedings, 3rd International ITB Geothermal Workshop*.
- KESDM. (2017). Potensi Geotermal Indonesia Jilid 2. Direktorat Geotermal EBTKE. Jakarta: Indonesia, *Buku*, 2((1)), pp. 1-749.
- Maharani, A., Salsanur, V., Hilal, A., Aprilian, Y. (2021). Preliminary Interpretation for Geothermal Potential Area Using DEM And Landsat OLI 8 in Mount Endut. *Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY*. 19 (1), 35-46
- Mia, B. Md., Nishijima, J., Fujimitsu. (2017). Thermal Activity Monitoring of an Active Volcano using Landsat 8/OLI-TIRS Sensor Images: A Case Study at the Aso Volcanic Area in Southwest Japan. *Geosciences*. 7, 118. doi:10.3390/geosciences7040118
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., and Chai, L. (2011). Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis - A case study in Tengchong, China. *Environment*. 140, 509-518.
- Ramadhan, R.F & Azhari, S.R. (2021). Identifikasi Area Prospek Geotermal Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 OLI/TIRS dan DEM: Studi Kasus Batu Bini, Kalimantan Selatan. *E-journal Majalah Ilmiah Swara Patra*. 11(2):37-50. <https://doi.org/10.37525/sp/2021-2/294>
- Siombone, S.H, Jufri, Wiyono, and Maba, M.U.S. (2021). Land Cover, Land Surface Temperature and Geomorphology Structure at Tulehu Geothermal Area, Ambon, Indonesia. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. 8(11), 279-291.
- Siombone, S.H., Maryanto, S., Wiyono. (2021). Land Surface Temperature and Geomorphology of Tiris Area, Lamongan Volcano Complex, Probolinggo, East Java, Indonesia. *Environmental and Earth Sciences Research Journal*. 8(2), 65-74. <https://doi.org/10.18280/eesri.080201>
- Soenarmo, S.H. (2009). Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis untuk Bidang Ilmu Kebumihan. Bandung: Penerbit ITB Bandung.
- Sukendar, P.M., Sasmito, B., Wijaya, A. P. (2016). Analysis of Mount Salak Geothermal Potential Area Distribution with Surface Temperature, Vegetation, and Geomorphology Index. 5(2), pp. 66-75
- Sulaeman, B., Widodo, S., Hermawan, D. (2010). Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Geotermal Tehoru, Maluku Tengah - Maluku. *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi*. 30, 495-507.
- Toisuta, Y.M.K., Haryanto, A.D., Hutabarat, J., Gentana, D. (2021). Pendugaan Temperatur Bawah Permukaan pada Manifestasi Geotermal Berdasarkan Analisis Geokimia Air Panas Daerah Kecamatan Tehoru, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(2), p. 6.
- USGS. (2016), "Using the USGS Landsat-8 Product", *United States Geological Survey (USGS)*, available at: <http://landsat.usgs.gov>
- Van Zuidam, R.A. (1985). Aerial Photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC, Smits Publ., Enschede, The Netherlands.
- Zaini, N., Yanis, Y., Abdullah, F., van der Meer, F., Aufaristama, M. (2022). Exploring the geothermal potential of Peut Sagoe volcano using Landsat 8 OLI/TIRS images. *Geothermics*, 105 (102499). <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102499>