



PEMETAAN POTENSI GEOTHERMAL SEULAWAH AGAM BERDASARKAN DATA DEMNAS DAN LANDSAT 8

Faisal Abdullah*^{1,2}, Anshar Vahreza², Muhammad Isa^{1,2}
Muhammad Yanis² dan Nasrullah Zaini¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Darussalam-Banda Aceh, Indonesia.

²Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam-Banda Aceh, Indonesia.

*corresponding author: faisal@unsyiah.ac.id

Received 08-03-2021, Revised 29-03-2022, Accepted 30-05-2022,
Available Online 04-10-2022, Published Regularly October 2022

ABSTRACT

Seulawah Agam is one of the volcanoes that has a potential for geothermal energy development with an estimated 150 Mwe. At the exploration stage, thermal and multispectral image analysis is needed for surface temperature calculations, subsurface temperature modeling, and geothermal potential mapping of the volcano. In this study, we used Landsat 8 and DEMNAS data to analyze the distribution of potential geothermal areas in the Seulawah Agam. Based on the analysis of Fault Fracture Density (FFD) from DEMNAS, there are three classifications that reflect the distance of the fault, namely low (0 - 0.30 km/km²), medium (0.30-0.60 km/km²), and high (0.60-0.90 km/km²) levels, where the distribution of geothermal potential is at medium and high-density levels. Meanwhile, the NDVI and NDWI data analysis shows that the areas of dense vegetation on the volcano and relatively rare in some manifestations. This can also be well confirmed by the high-temperature distribution in several craters between 34.63 oC to 46.59 oC. Based on observational data, it is shown that DEMNAS and Landsat 8 data are very potential to be used as an initial method of analyzing the distribution of geothermal potential on the Seulawah Agam volcano.

Keywords: DEMNAS; Landsat 8; geothermal; fault fracture density

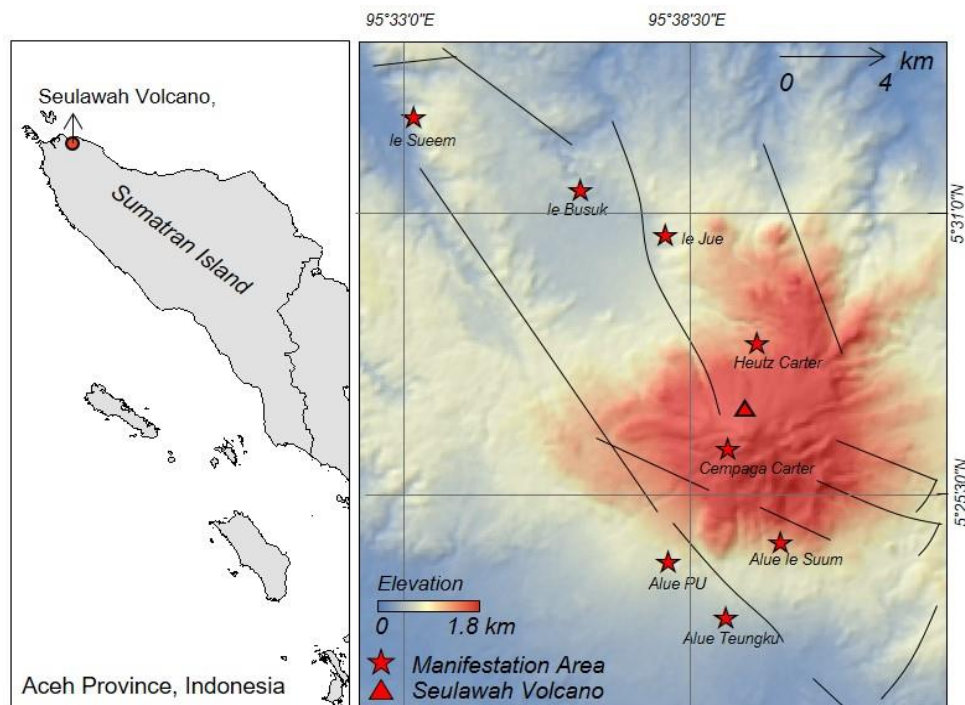
ABSTRAK

Gunung api Seulawah Agam berpotensi untuk pengembangan energi geothermal dengan estimasi 150 Mwe. Pada tahapan eksplorasi, analisis citra thermal dan multispectral sangat dibutuhkan untuk perhitungan suhu permukaan, pemodelan suhu bawah permukaan dan pemetaan potensi geothermal pada gunungapi. Pada penelitian ini kami menggunakan data Landsat 8 dan topografi DEMNAS untuk analisis sebaran area potensi geothermal pada gunungapi Seulawah Agam. Berdasarkan analisis Fault Fracture Density (FFD) dari DEMNAS, didapatkan 3 klasifikasi area yang mencerminkan jarak dengan patahan yaitu tingkatan rendah (0 - 0.30 km/km²), sedang (0.30-0.60 km/km²), dan tinggi (0.60-0.90 km/km²), dimana sebaran potensi panas bumi berada pada tingkat densitas sedang dan tinggi. Sedangkan analisis data NDVI dan NDWI menunjukkan area vegetasi padat pada gunung api dan relative jarang pada beberapa manifestasi. Hal ini juga dapat dikonfirmasi dengan baik melalui sebaran temperature yang tinggi pada beberapa kawah antara 34.63°C hingga 46.59°C. Berdasarkan data observasi menunjukkan bahwa data DEMNAS dan Landsat 8 sangat potensial digunakan sebagai metode awal analisis sebaran potensi geothermal pada gunungapi Seulawah Agam.

Kata kunci: DEMNAS; landsat 8; geothermal; fault fracture density

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara pemakai energi fosil berupa minyak bumi, energi fosil ini tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediaannya diperkirakan semakin lama semakin menipis. Sehingga apabila hal ini terus saja berlangsung maka dapat diprediksi tidak lama lagi krisis energi akan terjadi. Oleh karena itu perlu segera mulai dicari energi alternative lain seperti geothermal. Indonesia diperkirakan memiliki energi geothermal dengan potensi sebesar 28.617 Mwe atau 40% dari total potensi panas bumi dunia ^[1], bahkan gunungapi sekarang ini sudah dikembangkan menjadi spot geotourism yang memberikan dampak langsung terhadap perekonomian masyarakat tempat gunungapi itu berada ^[2]. Potensi panas bumi ini tersebar di 342 daerah di Indonesia. Akan tetapi hanya sedikit dari potensi ini yang telah dikembangkan untuk pembangkit geothermal, seperti di daerah Dieng Jawa Tengah. Padahal di Propinsi Aceh saja terdapat 20 potensi prospek panas bumi yang dapat dikembangkan untuk pembangkit tenaga listrik, seperti gunungapi Jaboi di Pulau Weh ^[3], Peut Sagoe di Pidie ^[4], dan Seulawah Agam di Aceh Besar yang diestimasi memiliki energi sekitar 165 Mwe ^{[5]–[7]}, dan memiliki 8 manifestasi yang tersebar pada bagian Utara dan Selatan ^[8]. Berbagai kajian ilmiah telah dilakukan sebagai upaya untuk mempercepat pembangunan sebuah power plant, seperti pengukuran magnetotelluric ^[9], transient electromagnetic ^[10], dan aplikasi geokimia pada beberapa manifestasi ^[8]. Namun belum ada literature yang terkait dengan aplikasi remote sensing pada gunung api tersebut. Padahal metode ini mempunyai peranan penting dalam eksplorasi gunung api di berbagai tempat. Hal ini karena citra satellite dapat memetakan suhu tinggi yang disebabkan oleh fluida and sifat termal batuan di bawah permukaan ^[11], Selain itu ketersediaan citra satellite yang multi temporal juga dapat digunakan untuk melakukan monitoring sistem panas bumi ^[12].



Gambar 1. Lokasi pengukuran berada pada Gunung api Seulawah Agam, Aceh Besar. Sebaran manifestasi secara umum berada dekat dengan patahan sebagai pengontrol naiknya fluida keatas permukaan. Di sekitar Gunung api Seulawah Agam secara keseluruhan terdapat 8 manifestasi, dimana dua diantaranya merupakan kawah dengan dimensi 200 x 200 m, sedangkan lainnya berupa hotspring dan warm ground dengan area yang kecil ^[8].

Pengukuran suhu permukaan merupakan salah satu parameter kunci dalam aplikasi remote sensing yang berkaitan dengan sumber daya panas bumi seperti assessment sumber geothermal, evaluasi dampak pengembangan panas bumi disekitar gunung api aktif, dan keberlanjutan sistem panas bumi dimasa mendatang ^[13]. Suhu permukaan juga dapat dipakai untuk mendeteksi sinyal awal letusan sebuah gunung api ^[14]. Dalam penelitian ini kami mengkaji sebaran panas bumi pada Gunung api Seulawah Agam dengan menggunakan data Satellite Landsat 8 dengan resolusi 15 – 30 m/px dan data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) dengan resolusi 8m/px ^[15]. Beberapa teknik yang diaplikasikan untuk citra satellite, seperti pada data Landsat 8, band 4 dan band 5 dari sensor TIRS digunakan untuk menghitung perubahan tutupan lahan yang berkaitan dengan emisivitas gunung api menggunakan metode Normalize Differential Vegetation Index (NDVI) dan band 10 dari sensor OLI digunakan untuk menghitung Land Surface Temperature (LST) sehingga diketahui perubahan temperature dari Gunung api Seulawah Agam, serta dilakukan penentuan hidrologi menggunakan teknik Normalized Difference Water Index (NDWI). Sedangkan data DEMNAS digunakan untuk pemetaan distribusi fracture atau rekahan yang berhubungan erat dengan sebaran panas bumi melalui teknik Fault Fracture Density (FFD). Secara spesifik lokasi pengukuran ditunjukkan oleh Gambar 1.

Geologi Seulawah Agam

Gunung Seulawah Agam adalah salah satu gunung api aktif yang berada di Provinsi Aceh. Secara administratif gunung ini berada di Kabupaten Aceh Besar. Menurut ^[16], secara geologi kawasan Aceh Besar tersusun atas lapisan aluvium yang terdiri atas pasir, kerikil, lumpur, dan seterusnya dengan bentuk yang bergelombang. Peta geologi Bennet ^[16], ^[17] juga menunjukkan bahwa gunung api Seulawah Agam didominasi oleh batuan gunung api Lam Teuba dan lahar yang terdiri dari batuan apung, tufa, konglomerat, breksi, aliran abu, hingga batuan andesit-dasit. Disamping itu juga, pada kawasan ini terdapat Formasi Seulimeum, Formasi Kota Bakti, dan Anggota Padang Tiji. Adapun batuan yang mendominasi di kawasan Formasi Seulimeum terdiri atas batu pasir tufaan dan gampingan, konglomerat, dan batu lumpur kurang. Sedangkan untuk Formasi Kota Bakti dan Anggota Padang Tiji tersusun atas batu lumpur, batu lanau gampingan, batu pasir gampingan, batu lanau, batu pasir kurang, dan batu gamping kurang. Aktivitas tektonik dari lempeng Indo-Australia juga menyebabkan terbentuknya patahan yang membentang dari Lampung sampai ke Laut Andaman yang terbagi menjadi 2 segmen yaitu Segmen Aceh dan Segmen Seulimum pada sisi utara Wilayah Aceh ^[18]–^[22]. Segment tersebut ikut mengontrol pembentukan Gunung api Seulawah Agam ^[10], ^[23]. Dalam Gambar 1 juga ditunjukkan patahan pada kawasan gunung api Seulawah Agam yang ditandai oleh garis hitam dalam arah Barat laut-Tenggara.

METODE

Landsat adalah program satellite sipil yang dimulai pada tahun 1965 oleh USGS, yang terakhir saat ini adalah Satellite Landsat 8 diluncurkan pada Tahun 2013 dan dapat mengorbit bumi dalam waktu 16 hari. Dalam penelitian ini, digunakan data sensor OLI/TIRS dari Landsat 8 yang direkam pada tanggal 05 Maret 2019. Data tersebut merupakan data Level-2 dimana koreksi geometri telah diterapkan terhadap citra satellite tersebut dan dapat diperoleh secara gratis melalui situs <https://earthexplorer.usgs.gov>. Secara spesifik [24] menyebutkan bahwa citra Landsat 8 terdiri dari 11 band, dengan 5 band Visual Near Infra Red (VNIR), 2 band Short Wave Infra Red (SWIR), 1 band Panchromatic, 1 band untuk deteksi awan cirrus, dan 2 band Thermal Infra Red (TIR). Data Landsat 8 menyimpan informasi pancaran panjang gelombang dalam format angka digital (DN) dalam kisaran antara 0 dan 255. Jadi data *Land Surface Temperature* (LST) dapat diambil dengan mengubah nilai DN ini menjadi nilai derajat Celsius atau Kelvin Dalam studi ini untuk

mempelajari temperature permukaan Tanah (LST) yang dapat menunjukkan aktivitas vulkanik dibawah permukaan, perlu dilakukan beberapa tahapan penting dalam pemrosesan data OLI/TIRS, seperti koreksi radiometrik, proportion of vegetation, brightness temperature calculation, dan emissivity calculation [24]. Koreksi radiometrik dilakukan terhadap setiap band pada sensor OLI, yang berguna untuk mengkonversi data DN hasil pengukuran sensor menjadi *light spectral* dengan menggunakan persamaan dibawah ini;

$$L\lambda = ML QCAL + AL \quad (1)$$

$L\lambda$ merupakan spectral gelombang ($W/m^2sr\mu m$), M_L sebagai data faktor skala perkalian pancaran untuk setiap band, the A_L merupakan faktor perkalian adiktif untuk setiap band, dan Q_{CAL} sebagai data setiap band dalam bentuk digital number (DN). Sedangkan untuk band thermal dari sensor TIRS, maka perlu dilakukan konversi menjadi brightness temperature.

Sensor TIRS ini memiliki 2 buah band termal yaitu band 10 dan band 11 dengan panjang gelombang λ 10.9-12 μm , namun dalam penentuan LST band 10 ($\lambda = 10.9 \mu m$) lebih cocok dibandingkan band 11 karena Band 11 memiliki ketidakpastian yang besar, sehingga penelitian ini hanya menggunakan Band 10. Brightness Temperature pada band TIRS dihitung menggunakan pendekatan Plank Radiation;

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2)$$

Dimana T adalah merupakan Brightness Temperature dalam Kelvin, $L\lambda$ adalah TOA Spectral Radiance ($W/m^2sr\mu m$), sedangkan $K_1 = 774.8853$ dan $K_2 = 1321.0789$ adalah konstanta konversi untuk band thermal. Temperatur kecerahan adalah suhu yang direkam oleh sensor satelit dengan asumsi bahwa nilai emisivitas permukaan diabaikan, sehingga dibutuhkan data NDVI untuk menghitung emissivity as a function of the atmo-spherically corrected red and near-infrared bands. Emisivitas untuk setiap pixel pada band sensor TIRS/OLI yang dihitung dari proportion vegetation pada NDVI. Secara matematis nilai NDVI dapat ditulis;

$$NDVI = \left(\frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}\right) \quad (3)$$

Dimana R_{NIR} merupakan band 5 pada Landsat 8, sedangkan R_{RED} merupakan band 4. Selain menghitung vegetasi yang menunjukkan terjadinya stres akibat anomali suhu di wilayah panas bumi, nilai NDVI diperlukan untuk menghitung proportion of vegetation (PV), yang didefinisikan sebagai rasio proyeksi vertikal dari nilai vegetasi pada setiap piksel, secara matematis dapat ditulis:

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}\right)^2 \quad (4)$$

Dimana $NDVI_s$ merupakan nilai respon NDVI pada tanah yang kosong, sedangkan $NDVI_v$ sebagai respon parameter NDVI pada area vegetasi yang padat. Merujuk pada [25] bahwa nilai emissivity dapat dihitung dengan mempertimbangkan keragaman tutupan lahan yang secara matematis dapat ditulis:

$$\varepsilon = 0.004 PV + 0.986 \quad (5)$$

Nilai emisifitas inilah yang digunakan untuk menghitung Land Surface Temperature (LST) menggunakan Single Channel Algorithm [11], [26].

$$Ts = T_{sensor} / 1 + (\lambda \times T_{sensor} \rho) \ln \varepsilon \quad (6)$$

Dimana λ merupakan panjang gelombang radiasi ($\lambda = 11.5 \mu\text{m}$), $\rho = hc/\lambda$ dalam mK, h sebagai konstanta Plank (6.626×10^{-34} Js), c kecepatan cahaya ($2,998 \times 10^8$ m/s²), dan k konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K), T_{sensor} nilai brightness temperature dari band 10/11 dan ε merupakan emissivity yang diperoleh dari vegetasi pada NDVI.

Data landsat 8 juga digunakan untuk menghitung Normalized Difference Water Index (NDWI) yang dapat diinterpretasikan sebagai indeks hidrologi untuk menunjukkan tingkat kebasahan suatu area. Teknik NDWI bertujuan untuk menggambarkan kondisi fitur air terbuka dengan resolusi yang baik. Dalam penerapannya, NDWI menggunakan radiasi infrared yang dipantulkan untuk meningkatkan fitur air dan menghilangkan keberadaan daripada vegetasi, secara matematis dapat ditulis;

$$NDWI = \left(\frac{R_{\text{Green}} - R_{\text{NIR}}}{R_{\text{Green}} + R_{\text{NIR}}} \right) \quad (7)$$

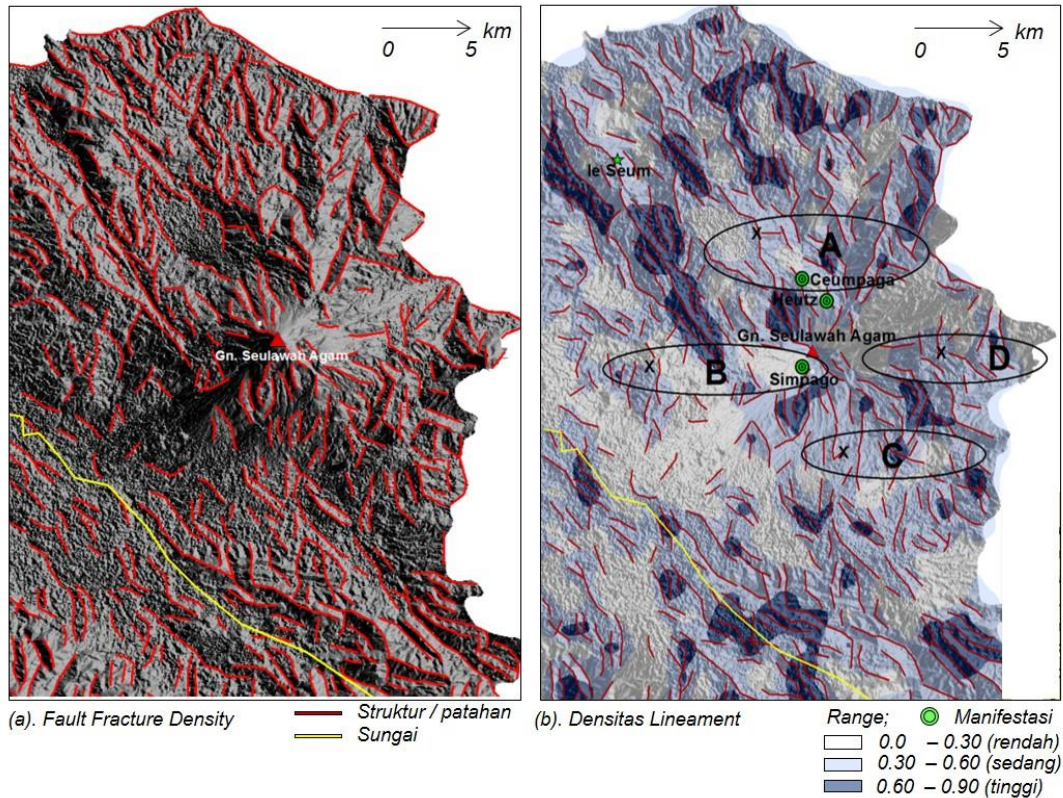
Dimana R_{NIR} merupakan band 5 pada Landsat 8, sedangkan R_{GREEN} merupakan band 3.

DEM Nasional merupakan data elevasi dengan resolusi yang lebih baik yaitu 8m/px, dibandingkan dengan Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) sebagai data Global Topography 15 Arc Sec. Data DEMNas dapat diunduh pada website [BIG tides.big.go.id/DEMNAS](http://BIG.tides.big.go.id/DEMNAS). Data DEMNAS dengan resolusi yang lebih ini dibangun melalui kombinasi beberapa satellite, yaitu IFSAR (5m/px), TERRASAR-X (5m/px) dan satellite ALOS PALSAR dengan resolusi 11.25m/px, dan juga dengan menambahkan data *mass point* dari hasil stereo-plotting. Resolusi spasial dari topografi DEMNAS ini adalah 0.27-arcsecond dengan datum EGM 2008. Jika satuan tersebut dikonversi ke satuan meter, maka didapatkan resolusi kurang dari 8.33m/px. Data topografi ini digunakan untuk mengitung lineament yang bekorelasi dengan struktur patahan gunungapi Seulawah Agam menggunakan Fault Fracture Density (FFD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fault Fracture Density

Data DEMNAS digunakan untuk menghasilkan peta *Fault and Fracture Density* (FFD) yang diperoleh melalui penarikan kelurusan (*lineament*). Penarikan kelurusan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi struktur geologi kawasan penelitian meliputi keberadaan zona sesar, rekahan, dan sungai yang berasosiasi dengan sebaran manifestasi panas bumi Seulawah Agam. Kelurusan yang telah dihasilkan selanjutnya diekstraksi hingga diperoleh nilai densitas daripada kelurusan tersebut. Nilai densitas kelurusan yang tinggi umumnya memiliki korelasi yang baik terhadap daerah manifestasi panas bumi serta asosiasi batuan reservoir yang terdapat dibawahnya. Pada tahapan awal data DEMNAS dikonversikan ke dalam bentuk *hillshade* menggunakan ArcGIS 10.4, dengan kombinasi peninaran 0°, 45°, 90°, dan 135°, hal ini dilakukan untuk mempermudah perbedaan struktur kelurusan yang lebih sesuai dengan keadaan geologi. Selanjutnya proses penarikan kelurusan dilakukan secara otomatis dengan memanfaatkan algoritma *LINE* yang terdapat pada menu *Algorithm Librarian*. Algoritma ini bekerja dengan cara pendeteksian tepi (*edge detection*), tahap ambang batas (*thresholding*), dan tahap ekstraksi kurva (*curve extraction*). Gambar 2 menunjukkan peta fault fracture density dari Seulawah Agam.



Gambar 2. Hasil ekstraksi struktur kelurusan. (a) struktur patahan yang dioverlay dengan data hillshade, dan (b) data Fault fracture density yang menunjukkan tingkat kerapatan patahan pada area penelitian.

Secara umum kawasan gunungapi Seulawah Agam terdapat beberapa lineament yang ditunjukkan oleh garis warna merah, lineament ini tidak semuanya merupakan patahan, tetapi juga disebabkan akibat adanya perbedaan struktur dan topografi pada area gunung api. Untuk memperoleh tingkat kepadatan dari distribusi patahan, kami menghitung fault fracture density menggunakan ArcGIS 10.4 student license. Gambar 2b menunjukkan tingkat kepadatan densitas patahan yang diplot dalam 3 range, yaitu rendah antara 0 – 0.30 km/km², sedang antara 0.30 – 0.60 km/km² dan tinggi yang berkisar antara 0.60 – 0.90 km/km². Tingkat kepadatan densitas ini sangat berkaitan dengan keberadaan patahan pada gunung api, sebagai pengontrol utama aktivitas fluida pada area manifestasi. Secara umum nilai fault fracture density (FFD) yang paling tinggi berada pada beberapa lokasi manifestasi seperti di Ceumpaga, Heutzdi sebelah Barat, serta Ie suum dan Ie jue di sebelah Utara. Patahan ini dapat menunjukkan indikasi awal dari potensi geothermal pada area gunung api Seulawah Agam. Selain itu struktur FFD yang tinggi juga menunjukkan arah struktur patahan dalam Barat Laut – Tenggara yang sesuai dengan patahan Sumatera segment Seulimum. Sedangkan pada beberapa lokasi yang tidak terdapat manifestasi nilai FFD berada pada range yang rendah yaitu 0 – 60 km/km².

Index Vegetasi

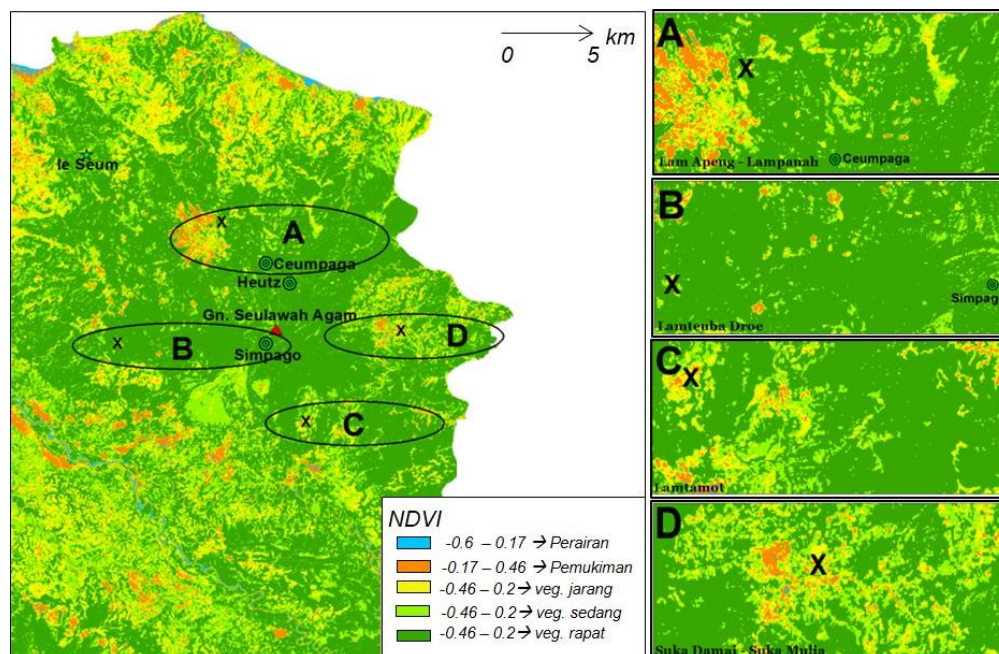
Normalize Differential Vegetation Index (NDVI) merupakan suatu transformasi untuk menentukan kerapatan vegetasi yang paling banyak digunakan. Gambar 3 menunjukkan data NDVI pada area gunungapi Seulawah Agam, klasifikasi kerapatan vegetasi diperoleh nilai yang bervariasi antara 0.178 – 0.467, dimana nilai tinggi mengindikasikan area yang lebih padat vegetasinya, sedangkan nilai yang lebih rendah tidak mewakili vegetasi atau

area terbuka. Secara spesifik untuk memudahkan interpretasi, data NDVI dibagi dalam lima range, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDVI

No.	Nilai NDVI	Kategori
1.	- 0,665 – 0,178	Perairan / badan air
2.	0,178 – 0,467	Lahan Terbuka, Pemukiman
3.	0,467 – 0,624	Jarang
4.	0,624 – 0,726	Sedang
5.	0,726 – 0,871	Rapat

Index vegetasi yang rendah < 0.178 diperoleh pada area sungai di sebelah Selatan gunungapi Seulawah Agam, sedangkan index vegetasi jarang terletak di sebelah Selatan dan sebelah Utara. Pada beberapa lokasi manifestasi seperti aliran panas, kawah, maupun potensi sebaran panas bumi berada pada tingkat vegetasi jarang hingga sedang, misalnya pada wilayah Ie Suum dan Ie Jue di Aceh Besar, begitu juga pada area kawah Cempaga dan Heutz didominasi oleh index vegetasi yang jarang. Potensi panas bumi lainnya yang ditunjukkan oleh vegetasi jarang adalah wilayah Lamtamot dan Suka Damai di sisi Selatan dan Timur gunungapi. Pada peta, kedua wilayah ini disimbolkan dengan simbol X yang masing-masing terletak di kawasan C dan kawasan D, sedangkan untuk potensi panas bumi yang berada pada vegetasi sedang meliputi wilayah Lam Apeng-Lampanah (kawasan A) serta wilayah Lamteuba Droe (kawasan B) yang masing-masing terletak di sebelah Utara dan sebelah Barat Seulawah Agam. Selain itu, index vegetasi yang jarang secara umum didominasi pada area pemukiman masyarakat dengan rentang $- 0.17$ sampai 0.46 , anomali ini berada mengelilingi gunungapi Seulawah Agam.



Gambar 3. Peta Index vegetasi Seulawah Agam. Nilai (green) mengindikasikan vegetasi dan nilai yang orange menunjukkan wilayah permukaan tanah, air dan tanah kering.

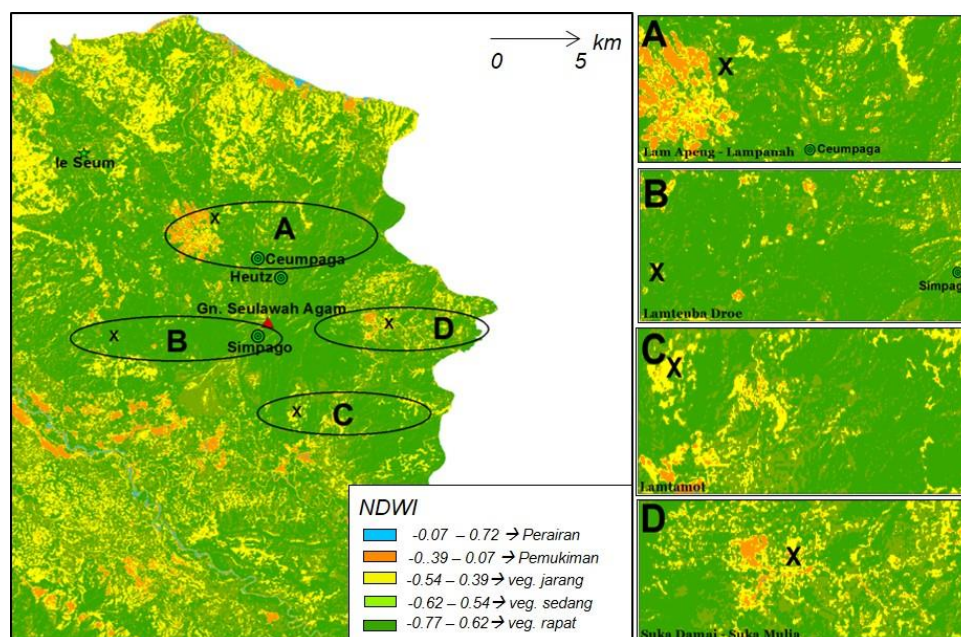
Merujuk pada [14] bahwa index bevegetasi pada area prospek geothermal digunakan untuk mengetahui tingkat stress tumbuhan yang disebabkan oleh adanya aktivitas panas dibawah permukaan, namun pada kondisi gunung api Seulawah Agam yang berada dekat dengan

pemukiman masyarakat, maka area pemukiman didominasi oleh kerapatan yang lebih rendah dibandingkan dengan potensi geothermal. Namun [14] menyatakan bahwa nilai NDVI 0 – 0.2 merupakan area vegetasi tidak rapat yang dimungkinkan sebagai aktivitas prospek geothermal pada gunung api. Jika dilihat dari analisis teknik Normalize Differential Water Index (NDWI) yang ditunjukkan pada Gambar 4, maka pola anomaly yang didapatkan juga relative sama dengan NDVI, yaitu bernilai rendah pada area pemukiman dan bernilai tinggi pada area vegetasi yang padat. Secara spesifik klasifikasi pada NDWI ditunjukkan oleh Tabel 2.

Secara konsep teknik NDWI ini bekerja dengan menghitung rasio perbedaan reflektansi vegetasi pada band hijau (band 3) dengan band inframerah (band 5) dari data Landsat 8. Merujuk pada [27] nilai NDWI berkisar antara -1 hingga 1, dimana nilai rendah diinterpretasikan sebagai kawasan yang memiliki tingkat vegetasi rapat, dan tinggi sebagai area perairan maupun badan air. Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai NDWI minimum berkisar antara -0.779 hingga -0.625 yang disimbolkan dengan warna hijau tua. Nilai minimum ini diinterpretasi sebagai kawasan bervegetasi rapat. Wilayah yang masuk dalam kategori ini adalah kawah-kawah yang terdapat di sekitar Gunung Seulawah Agam. Masing-masing kawah tersebut adalah kawah Ceumpaga dan kawah Heutz yang terletak di sebelah Utara Gunung Seulawah Agam serta kawah Simpago yang terletak di sebelah Selatan Gunung Seulawah Agam. Selain itu nilai NDWI maksimum yang berkisar antara -0.070 sampai dengan 0.726 merupakan respon terhadap keberadaan air yang terdapat pada sungai di sebelah Selatan gunungapi tersebut. Secara keseluruhan data NDWI dapat menggambarkan index vegetasi yang sama dengan NDVI, namun dengan distribusi nilai yang berbeda.

Tabel 2. Klasifikasi nilai NDWI

No.	Nilai NDWI	Kategori
1.	-0,779 – -0,625	Rapat
2.	-0,625 – -0,543	Sedang
3.	-0,543 – -0,395	Jarang
4.	-0,395 – 0,070	Lahan terbuka, pemukiman
5.	0,070 – 0,726	Perairan



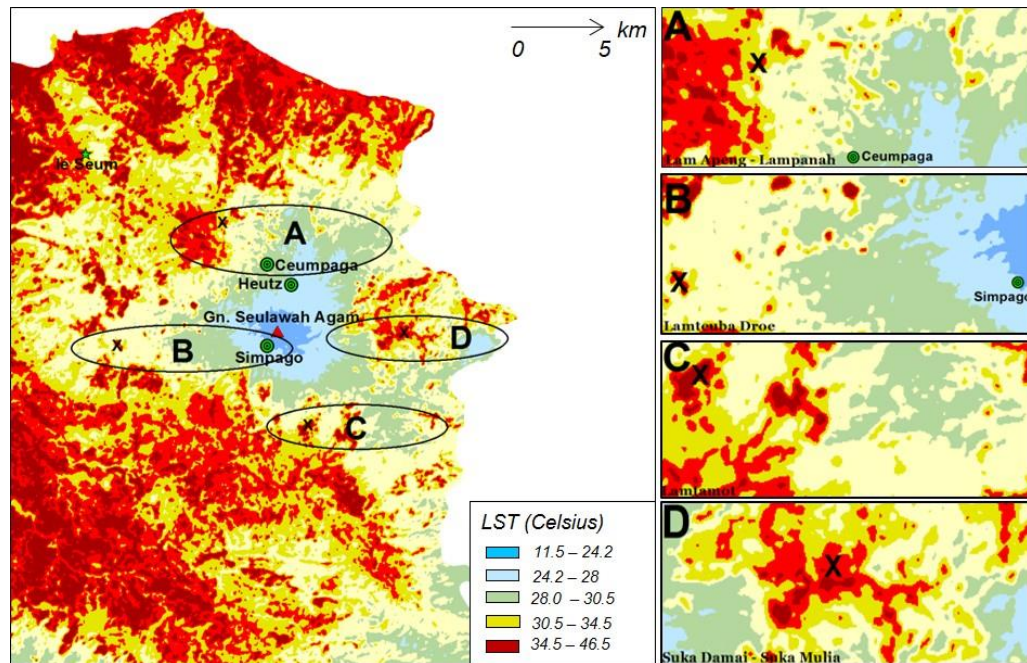
Gambar 4. Peta NDWI Seulawah Agam. Nilai (green) mengindikasikan vegetasi dan nilai yang orange menunjukkan wilayah permukaan tanah, air dan tanah kering.

Land Surface Temperature

LST (*Land Surface Temperature*) merupakan suatu transformasi yang digunakan untuk menentukan distribusi suhu permukaan di suatu kawasan. Penentuan distribusi suhu permukaan dilakukan dengan memanfaatkan *band* termal yang terdapat pada Landsat 8, yakni *band* 10. Penggunaan *band* 10 untuk perhitungan LST jauh lebih efektif jika dibandingkan dengan menggunakan *band* 11. Hal ini dikarenakan nilai *error* yang terdapat pada *band* 10 memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *band* 11. Proses penentuan distribusi suhu permukaan memiliki cara yang berbeda dengan penentuan kerapatan vegetasi maupun keadaan hidrologi. Jika pada penentuan kerapatan vegetasi dan keadaan hidrologi tidak memerlukan perhitungan nilai emisivitas, maka pada penentuan distribusi suhu permukaan terlebih dahulu harus dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai emisivitas. Perhitungan emisivitas bertujuan untuk mengurangi nilai suhu permukaan akibat pengaruh benda-benda yang terdapat di bumi. Sebagaimana yang diketahui bahwa setiap benda yang terdapat di bumi memiliki energi termal tersendiri, sehingga dapat mempengaruhi nilai estimasi suhu permukaan yang ingin dicari, secara spesifik proses koreksi emisivitas dilakukan dengan menggunakan persamaan 5. Peta sebaran LST yang telah dikoreksi emisivitas ditunjukkan oleh Gambar 5.

Secara keseluruhan nilai suhu permukaan berkisar antara 11.55°C hingga 30.51°C. Suhu permukaan minimum ini disimbolkan dengan kawasan yang berwarna biru terang hingga kawasan yang berwarna biru keabu-abuan. Pada wilayah yang diduga terdapat beberapa manifestasi seperti kawah Ceumpaga, Heutz, dan Simpago berada pada suhu permukaan yang tergolong rendah, hal ini tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi dengan keadaan sekitar yang didominasi oleh aktivitas pemukiman masyarakat. Pada umumnya teknik LST ini digunakan untuk mencari temperature yang tinggi pada area geothermal, namun karena gunung api Seulawah Agam berada dekat dengan pemukiman, maka gunungapi tersebut berada pada kondisi temperature yang lebih rendah dibandingkan dengan keadaan sekitar. Hal ini bersesuaian dengan data NDVI yang menunjukkan pada area tersebut didapat sebaran tumbuhan yang relative padat, tumbuhan ini tidak mengalami stress yang signifikan karena berada pada temperature tanah yang relative rendah yaitu dibawah 25 celcius, dimana besarnya gradient temperature yang membuat tumbuhan stress berada pada range temperature 25 – 30 °C^[14].

Selain itu pada beberapa kawasan manifestasi berada pada suhu permukaan yang tinggi yaitu antara 34.63°C hingga 46.59°C, misalnya Ie Seum yang berada di sebelah Barat laut Gunungapi, hal yang sama juga terlihat pada 4 kawasan lain yang disimbolkan dengan X. Kawasan pertama (A) adalah wilayah Lam Apeng-Lampanah yang berada di sebelah Utara Gunung Seulawah Agam dan kawasan yang kedua (B) meliputi wilayah Lamteuba Droe yang berada di sebelah barat Gunung Seulawah Agam. Sedangkan kawasan ketiga (C) dan keempat (D) masing-masing adalah wilayah Lamtamot yang berada di sebelah Selatan Gunung Seulawah Agam dan wilayah Suka Damai-Suka Mulia yang berada di sebelah Timur. Peta LST juga menunjukkan beberapa kawasan dengan suhu permukaan tinggi yang tidak ada hubungan dengan geothermal, seperti di Selatan dan Utara yang berasosiasi terhadap pemukiman.



Gambar 5. Peta sebaran temperature pada gunungapi Seulawah Agam. Nilai merah mengindikasikan temperature yang tinggi, dan biru respon dari temperature yang rendah.

KESIMPULAN

Seulawah Agam merupakan salah satu gunungapi yang dapat dikembangkan untuk memenuhi energi listrik di Provinsi Aceh, sehingga eksplorasi salah satu cara untuk mempercepat pembangunan power plant tersebut. Data citra satelit seperti DEMNas dan Landsat 8 menjadi teknik awal dalam tahapan eksplorasi, karena dapat mengcover seluruh area dan tersedia data secara free untuk waktu yang lama. Sehingga memungkinkan untuk analisis dan monitoring pada gunungapi. Analisis data Fault Fracture Density (FFD) menunjukkan pada beberapa lokasi yang berkaitan dengan geothermal didominasi oleh nilai yang sedang dan tinggi yaitu sedang ($0.30-0.90 \text{ km/km}^2$), sedangkan analisis vegetasi dengan teknik NDVI dan NDWI menunjukkan area potensi geothermal didominasi oleh vegetasi yang relative jarang, terutama pada area manifestasi seperti Ie Suum dan kawah Heutz. Hal yang sama juga terlihat dari data Land Surface Temperature (LST) yang secara umum didominasi oleh nilai yang rendah pada gunungapi, dan bernilai tinggi pada beberapa area manifestasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa korelasi antara DEMNAs dan Landsat series dapat memberikan gambaran awal terhadap potensi geothermal pada gunungapi Seulawah Agam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari hibah penelitian Lektor Kepala dari Universitas Syiah Kuala (No. 257/UN11.2.1/PT.01.03/PNBP/2020).

DAFTAR PUSTAKA

1. Hochstein, M. P. and Sudarman, S. 2008. History of geothermal exploration in Indonesia from 1970 to 2000. *Geothermics*. 37(3), 220–266, doi: 10.1016/j.geothermics.2008.01.001.
2. Marwan, Yanis, M. Muzakir, and Nugraha, G. S. 2020. Application of QR codes as a new communication technology and interactive tourist guide in Jaboi, Sabang. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 796(1), doi: 10.1088/1757-899X/796/1/012025.

3. Yanis, M. Ismail N., and Abdullah F., 2022. Shallow Structure Fault and Fracture Mapping in Jaboi Volcano, Indonesia, Using VLF–EM and Electrical Resistivity Methods. *Nat. Resour. Res.*, 31(1), 335–352, doi: 10.1007/s11053-021-09966-7.
4. Yanis, M., Novari I., Zaini, N., Marwan, Pembonan, A. Y., and Nizamuddin. 2020. OLI and TIRS Sensor Platforms for Detection the Geothermal Prospecting in Peut Sagoe Volcano, Aceh Province, Indonesia. *2020 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs)*, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICELTICs50595.2020.9315378.
5. Marwan, Yanis, M., Idroes, R., and Ismail, N. 2021. 2D inversion and static shift of MT and TEM data for imaging the geothermal resources of Seulawah Agam Volcano, Indonesia. *Int. J. GEOMATE*, 17(62), 2019, doi: 10.21660/2019.62.11724.
6. Marwan et al. 2021. Mapping of Fault and Hydrothermal System beneath the Seulawah Volcano Inferred from a Magnetotellurics Structure. *Energies*, 14(19), 6091, doi: 10.3390/en14196091.
7. Zaini, N., Yanis, Marwan, M., Isa, M., and van der Meer, F. 2021. Assessing of land surface temperature at the Seulawah Agam volcano area using the landsat series imagery. in *Journal of Physics: Conference Series*. 1825(1), doi: 10.1088/1742-6596/1825/1/012021.
8. Idroes R. et al., 2019. Geochemistry Exploration and Geothermometry Application in the North Zone of Seulawah Agam, Aceh Besar District, Indonesia. *Energies*. 12(23), 4442, doi: 10.3390/en12234442.
9. Marwan. 2019. Deep And Shallow Structures of Geothermal Seulawah Agam Based on Electromagnetic And Magnetic Data. *Int. J. GEOMATE*. 16(23), doi: 10.21660/2019.53.17214.
10. Marwan, Yanis, M., Idroes, R., and Ismail, N. 2019. 2D inversion and static shift of MT and TEM data for imaging the geothermal resources of Seulawah Agam Volcano, Indonesia. *Int. J. GEOMATE*. 17(62) 173–180, doi: 10.21660/2019.62.11724.
11. 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. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* doi: 10.1016/j.jag.2011.02.005.
12. Mia, M. B., Fujimitsu, Y., and Nishijima, J. 2019. Exploration of hydrothermal alteration and monitoring of thermal activity using multi-source satellite images: A case study of the recently active Kirishima volcano complex on Kyushu Island, Japan. *Geothermics*, doi: 10.1016/j.geothermics.2019.01.006.
13. Lewis, Hilley, G. E., and Lewicki, J. L. 2015. Integrated thermal infrared imaging and structure-from-motion photogrammetry to map apparent temperature and radiant hydrothermal heat flux at Mammoth Mountain, CA, USA. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.07.025.
14. Mia, M. B., Nishijima, J., and Fujimitsu, Y. 2014. Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+ images. A case study at Aso volcanic area in Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* doi: 10.1016/j.jvolgeores.2014.02.008.
15. Yanis, M., Anggini, A. H., Abdullah, F., Zainal, M., and Abubakar, M. 2021. Application of Unmanned Aerial Vehicle as a Base Map Layer In Near-Surface Geophysics. *J. Geogr.* 13(1), 26–36, doi: 10.24114/JG.V13I1.17818.
16. Bennett, J. D. et al., 1981. The Geology of the Aceh Quadrangle, Sumatra-Geological Research and Development Centre, Bandung. *Explan. note*. p. 19, 1981.
17. Yanis, M. et al. 2021. Geophysical and Geotechnical Approaches in Developing Subsurface Model for Gas Power Plant Foundation. *Indian Geotech. J.*, doi: 10.1007/s40098-021-00559-y.

18. Natawidjaja, D. H. and Triyoso, W. 2007. The Sumatran fault zone—From source to hazard. *J. Earthq. Tsunami*. 1(1), 21–47.
19. Ismail, N., Yanis, M., Idris, S., Abdullah, F., & Hanafiah, B. 2017, May. Near-surface fault structures of the seulimuem segment based on electrical resistivity model. *In Journal of Physics: Conference Series*. 846(1), 012016.
20. Yanis, M., Abdullah, F., Zaini, N., & Ismail, N. 2021. The northernmost part of the Great Sumatran Fault map and images derived from gravity anomaly. *Acta Geophysica*, 69(3), 795-807. doi: 10.1007/s11600-021-00567-9.
21. Muhammad, Y., Faisal, A., Yenny, A., Muzakir, Z., Abubakar, M., & Nazli, I. 2020. Continuity of great sumatran fault in the marine area revealed by 3D inversion of gravity data. *Jurnal Teknologi*, 83(1), 145-155. doi: 10.11113/jurnalteknologi.v83.14824.
22. Yanis, M., Marwan, M., & Ismail, N. 2019. Efficient Use of Satellite Gravity Anomalies for mapping the Great Sumatran Fault in Aceh Province. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 9(02), 61-67., doi: 10.13057/ijap.v9i2.34479.
23. Idroes, R., Yanis, M., & Idroes, G. M. 2021. A low-cost UAV based application for identify and mapping a geothermal feature in ie jue manifestation, Seulawah Volcano, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 20(80), 135-142., doi: 10.21660/2021.80.j2044.
24. USGS, “Landsat 8 (L8) Data Users Handbook,” 2015.
25. Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440. doi: 10.1016/j.rse.2004.02.003.
26. Artis, D. A., & Carnahan, W. H. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote sensing of Environment*, 12(4), 313-329., doi: 10.1016/0034-4257(82)90043-8.
27. Hogg J. 2004. Quantitative remote sensing of land surfaces. *Photogramm. Rec.*, doi: 10.1111/j.0031-868x.2004.295_1.x