

## IDENTIFIKASI POTENSI PANAS BUMI MENGGUNAKAN PENDEKATAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PADA AREA SEKITAR DANAU LINOW, KOTA TOMOHON, SULAWESI UTARA

Muhammad Faiz Nugraha<sup>1</sup>, Siti Navisa<sup>1</sup>, M. Singgih Purwanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
e-mail : nugrahafaiz003@gmail.com

**Abstrak.** Penelitian ini fokus pada analisis lineament density menggunakan data Digital Elevation Map (DEM) area Danau Linow. DEM diunduh dari DEMNAS dan diperkaya dengan data Land Surface Temperature dari MODIS. Software ArcGIS dan Geomatica digunakan untuk pengolahan data. Hasil analisis menunjukkan struktur sesar utama, terutama Timur Laut - Barat Daya, dikontrol oleh sesar di sekitar Danau Linow. Densitas pada area dengan struktur yang kompleks mencapai  $1.364 \text{ Km/Km}^2$ , terkonsentrasi di sebelah Timur Laut danau, mengindikasikan sesar utama Malalayang. Manifestasi geothermal di sekitar Danau Linow didukung oleh kelurusan dan densitas tinggi. Anomali tinggi berada pada arah Timur Laut Danau Linow sesuai dengan lokasi sesar, diperkuat oleh peta manifestasi geothermal. Suhu permukaan berkisar  $27,12-29,70$  derajat, dengan suhu tinggi di arah Utara dan Selatan Danau Linow, hal ini disebabkan oleh adanya sesar yang membuat adanya rekahan dan rekahan tersebut dialiri oleh magma sehingga membuat suhu permukaan meningkat, kenaikan suhu ini juga berkaitan dengan padatnya bangunan dan pemukiman masyarakat di area sekitar Danau Linow. Peta Indeks Vegetasi menunjukkan area dengan potensi geothermal memiliki vegetasi rendah, tetapi area pemukiman memiliki vegetasi lebih rendah. Area dengan zona lemah (kerapatan struktur tinggi) cenderung memiliki vegetasi sedang karena pengaruh suhu permukaan dan mineral panas bumi. Temuan ini memberikan wawasan dalam pemahaman struktur geologi, manifestasi panas bumi, dan dampak terhadap lingkungan di area Danau Linow.

**Kata Kunci:** Danau Linow; Kerapatan Vegetasi; Land Surface Temperature; Lineament Density; Panas Bumi

**Abstract.** This study focuses on the analysis of lineament density using Digital Elevation Map (DEM) data of Linow Lake. The DEM was obtained from DEMNAS and enriched with Land Surface Temperature data from MODIS. ArcGIS and Geomatica software were employed for data processing. The results of the analysis reveal the presence of major fault structures, particularly in the northeast to southwest direction, controlled by faults around Lake Linow. High-density structures reaching  $1.364 \text{ Km/Km}^2$  are concentrated to the northeast of the lake, indicating the potential presence of the main Malalayang fault. Geothermal manifestations around Lake Linow are supported by lineaments and high density. High anomalies to the northeast trending north of Lake Linow correspond to fault locations, reinforced by geothermal manifestation maps. Surface temperatures range from  $27.12$  to  $29.70^\circ\text{C}$ , with elevated temperatures in the north and south of Lake Linow, associated with the main faults and urban structures. The Vegetation Index Map indicates that areas with geothermal potential have low vegetation, while residential areas exhibit even lower vegetation. Areas with weak zones (high structural density) tend to have moderate vegetation due to the influence of surface temperature and minerals from geothermal activity. These findings provide insights into understanding the geological structure, geothermal manifestations, and their environmental impacts in the Linow Lake.

**Keywords:** Linow Lake; Vegetation; Land Surface Temperature; Lineament Density; Geothermal

## **PENDAHULUAN**

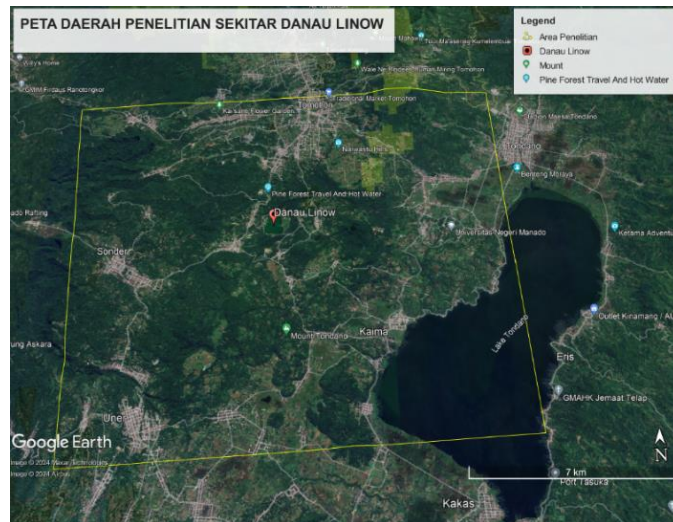
Penggunaan citra satelit atau penginderaan jarak jauh efektif digunakan untuk *preliminary study* atau studi pendahuluan yang mencakup pola kelurusan struktur, suhu permukaan, serta kerapatan vegetasi suatu wilayah yang diduga memiliki prospek geothermal. Ketiga aspek tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi bawah permukaan sehingga dapat diketahui proses tektonik hingga aktivitas fluida yang mengindikasikan distribusi fluida termal bawah permukaan untuk analisis lanjutan mengenai geothermal di wilayah tersebut (Nugroho dkk, 2017). Pada studi lebih lanjut, citra landsat dapat digunakan secara optimal untuk memetakan zona alterasi hidrotermal suatu wilayah (Ramirez dkk, 2019). Kurnianto (2022) memanfaatkan *Lineament density* untuk mengidentifikasi prospek panas bumi di Lapangan Panas Bumi Gunung Ungaran, Semarang, Jawa Tengah dan dihasilkan bahwa interpretasi citra dapat memperlihatkan struktur seperti sesar, kekar, dan kelurusan serta dapat diketahui bahwa daerah manifestasi panas bumi memiliki densitas struktur tinggi. Selain menggunakan *Lineament density*, ditambahkan data citra satelit pendukung lain untuk analisis seperti data *Land Surface Temperature* dan *Normalized Difference Vegetation Index*. Farhan dkk (2021) melakukan penelitian dengan judul “Identifikasi Zona Prospek Panas Bumi Menggunakan Digital Elevation Model Dengan Metode Densitas Kelurusan Dan Identification of Geothermal Prospect Zone Using Digital Elevation Model With Lineament Density and Land Surface Temperature Method in Seulawah” dan didapatkan bahwa zona dengan prospek panas bumi memiliki kelurusan densitas tinggi (struktur sangat rapat), suhu rata-rata permukaan pada tingkat sedang-tinggi, dan rapat vegetasi cenderung rapat - sedang.

Keterdapatannya suatu sistem panas bumi, umumnya dapat diketahui dari manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan berupa kemunculan air panas, uap panas, atau gas panas pada permukaan dimana manifestasi akan muncul pada permukaan dengan porositas besar atau bagian permeabilitas kecil dan densitas rendah seperti pada suatu rekahan atau struktur (Farhan dkk, 2021). Manifestasi yang muncul di area prospek panas bumi diakibatkan oleh adanya aktivitas fluida panas di bawah permukaan yang berasosiasi dengan rekahan sehingga naik menuju permukaan baik dalam bentuk uap maupun air panas (Saptadji, 2003). Zona lemah yang menjadi jalur fluida panas bumi dapat dilakukan analisis pendahuluan dengan menggunakan metode *Lineament Density* dan data satelit lain berupa data *Land Surface Temperature (LST)* dan *Normalized Vegetation Index (NDVI)*, namun untuk mendeteksi letak secara presisi suatu rekahan sehingga diketahui reservoirnya harus digunakan data lain berupa data survei metode geofisika seperti Magnetotellurik dan gravitasi. Zona lemah tersebut menyebabkan suhu permukaan meningkat akibat aktivitas fluida dibawahnya dan hal tersebut memengaruhi adanya kerapatan vegetasi.

Lokasi penelitian berada di daerah Sulawesi Utara dikarenakan daerah ini merupakan salah satu provinsi dengan gunung api aktif yang relatif banyak sehingga berpotensi menyimpan *geothermal* yang besar dan dapat dimanfaatkan, hal ini di dinyatakan oleh kementerian ESDM (2023) menyatakan bahwa Sulawesi Utara memiliki potensi panas bumi sebesar 3.071 MW dari total potensi *geothermal* di Indonesia yang mencapai 23.766 MW. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis zona prospek berdasarkan *lineament density* yang diperoleh dari penginderaan jarak jauh pada wilayah Danau Linow. Serta menganalisis hubungan potensi panas bumi dengan *lineament* berdasarkan data yang diperoleh dari penginderaan jarak jauh serta didukung data *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* dan *Land Surface Temperature (LST)*.

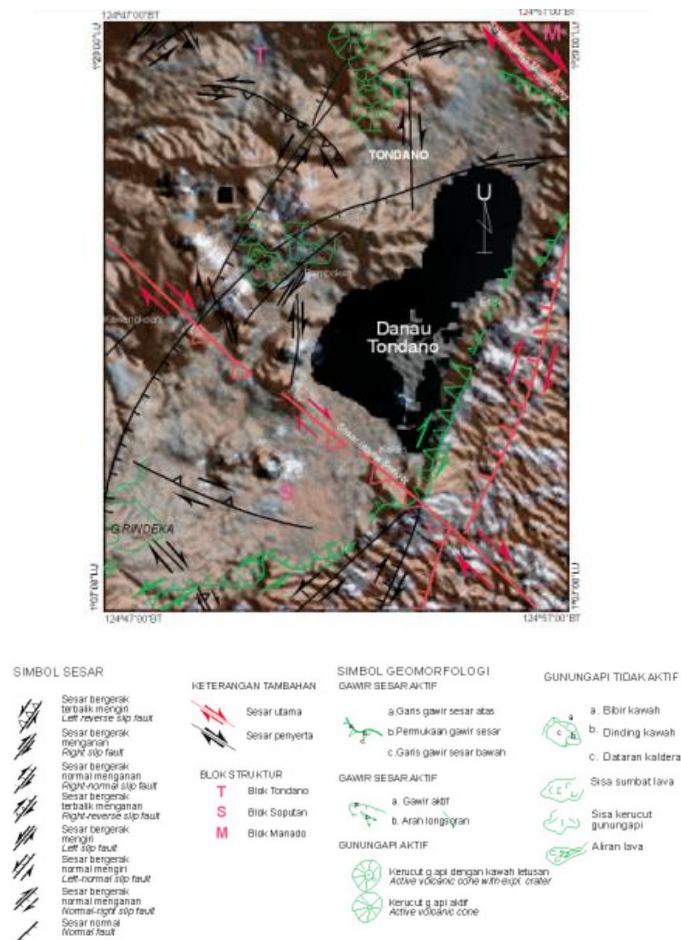
## **GEOLOGI DAERAH PENELITIAN**

Daerah penelitian merupakan area Danau Linow yang terletak di Kota Tomohon, Sulawesi Utara tepatnya pada zona 51 Northern Hemisphere (51 N) dengan posisi 1°16'15.24" N 124°49'34.68" E. Danau Linow secara fisiografis masuk ke dalam zona Sulawesi lengan utara yang terhubung dengan rantai pegunungan Sangihe (Bemmelen, 1949). Danau ini masuk ke dalam jenis morfologi vulkanik berupa kawah erupsi sehingga membentuk kaldera dengan panjang 5 Km dan lebar 3,5 Km (Tandipanga, 2020).



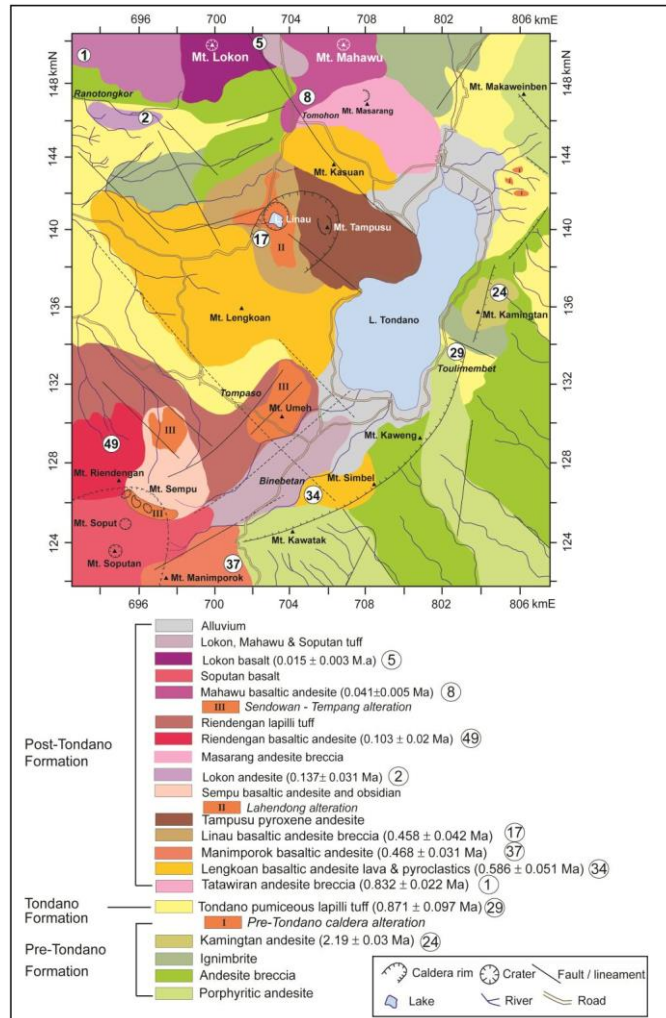
**Gambar 1.** Lokasi Area Penelitian (Source : Google Earth)

Struktur yang berkembang di area Danau Linow yaitu *Crater* (Kerucut gunung api dengan kawah letusan), *Caldera rim* (dinding kaldera hasil dari gawir sesar), dan sesar penyerta berjenis sesar geser di arah tenggara Danau Linow dan sesar utama di Barat Daya Danau Linow dengan orientasi relatif Tenggara-Barat Laut yang diduga sebagai sesar geser Sondor, serta Sesar Malayang. Meskipun terdapat sesar utama, struktur besar yang paling dekat dengan Danau Linow adalah sesar penyerta yang berorientasi Timur Laut-Barat Daya dengan jenis sesar geser. Berikut merupakan peta struktur geologi yang berkembang di area Danau Linow (Moechtar dkk, 2007) :



**Gambar 2.** Struktur Geologi Danau Linow (Source : Moechtar dkk, 2007)

Danau Linow berada pada fase Post-Tondano Formation dengan urutan dari tua ke muda adalah Lengkoang Basaltic Andesite Lava & Pyroclastics, Formasi Linau Basaltic Andesite Breccia, Tampusu Pyroxene Andesite. Sekeliling danau Linow terjadi proses alterasi dengan sebutan *Lahendong Alteration* (Utami, 2011). Hampir keseluruhan dari Tomohon diapit oleh Formasi Batuan Gunungapi Muda (Qv) dengan komposisi Basalt dan andesit. Berikut merupakan peta geologi daerah penelitian :

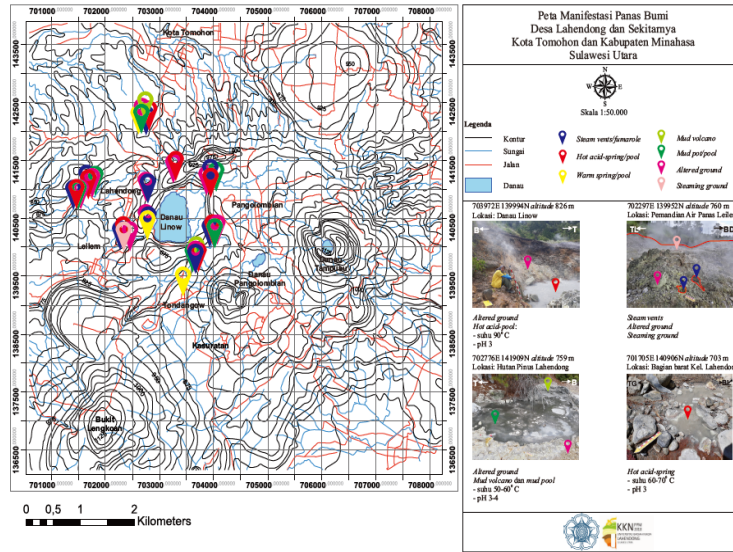


**Gambar 3.** Peta Geologi Danau Linow (Source : Utami, 2011)

### MANIFESTASI PANAS BUMI

Manifestasi panas bumi yang ada di daerah penelitian meliputi mata air panas di Hutan Pinus Lahendong (Kharisma dkk, 2020), mata air panas Danau Linow (Jamlean dkk, 2022), semburan uap Lahendong, pelapukan mengulit bawang pada andesit teralterasi, *steaming ground* atau tanah beruap, fumarol, dan *mud pool* dengan diameter yang bervariasi. Terdapatnya beberapa manifestasi panas bumi yang ada diperkirakan karena adanya rekahan saat pembentukan kaldera sehingga meningkatkan permeabilitas di area Danau Linow.

Tim KKN PPM Universitas Gadjah Mada tahun 2018 telah memetakan beberapa titik manifestasi panas bumi di kawasan danau Linow dan dihasilkan peta persebaran manifestasi sebagai berikut :



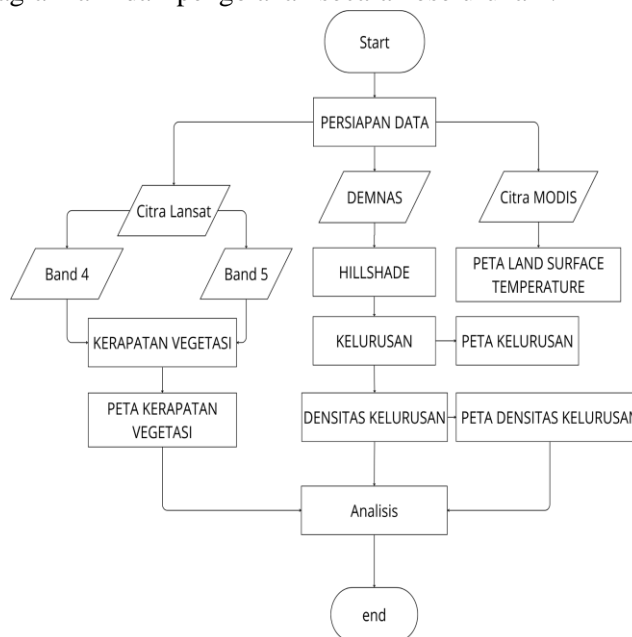
Gambar 5. Peta Manifestasi Panas Bumi (Source : KKN-PPM UGM PANAS BUMI LAHENDONG 2018)

## METODOLOGI

Analisis *lineament density* dilakukan dengan menggunakan data DEM (*Digital Elevation Map*) dari area Danau Linow yang diunduh dari DEMNAS. Serta ditambahkan data pendukung berupa data *Land Surface Temperature* yang didapatkan dari MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dan data *Normalized Difference Vegetation Index* yang didapatkan dari Citra Landsat 8 band 4 dan band 5.

*Software* yang dipergunakan pada penelitian yaitu *Software ArcGIS*, dan *Geomatica*. *Software ArcGIS* dipergunakan untuk mengolah citra DEM menjadi *hillshade* supaya menampilkan relief permukaan (Fajri dkk, 2021). Kemudian diinputkan kedalam software *Geomatica* untuk diambil kelurusannya sehingga dapat dilakukan analisis menggunakan diagram *rosset* dengan *software Rockworks*. Data LST diolah menggunakan *ArcGIS* yang diklasifikasikan kedalam 4 jenis, yaitu suhu sangat rendah hingga tinggi. Data NDVI diolah menggunakan *ArcGIS* dan diklasifikasikan menjadi lima kategori dari sangat tidak rapat hingga rapat.

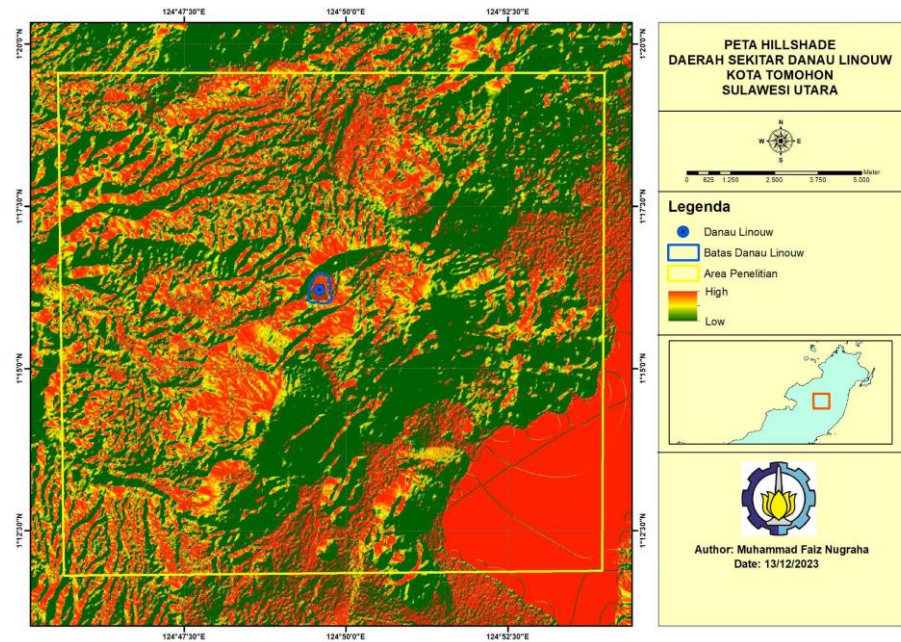
Berikut merupakan diagram alir dari pengolahan secara keseluruhan :



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

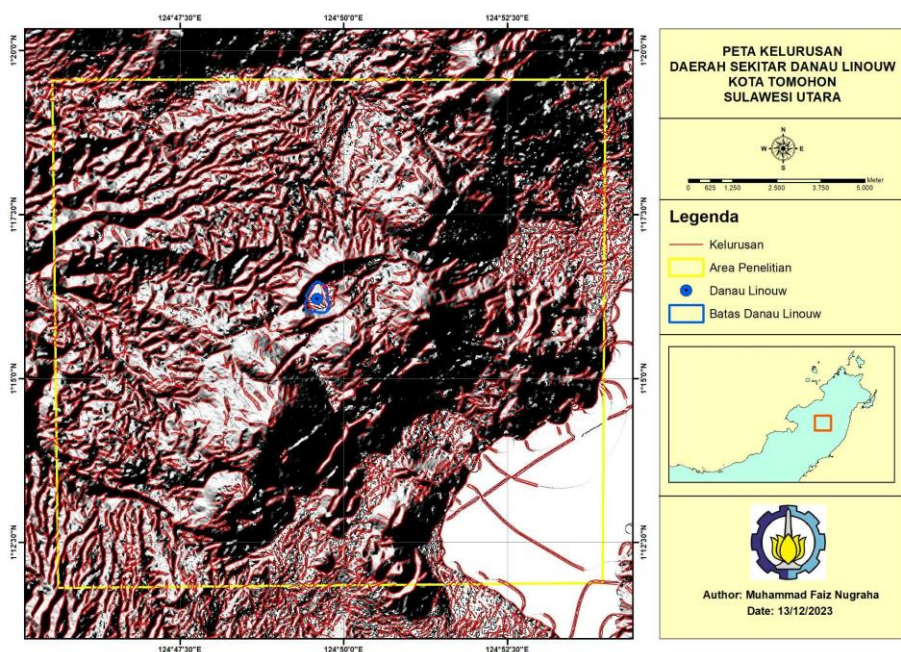
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis *lineament density* dilakukan dengan menggunakan data DEM (*Digital Elevation Map*) dari area Danau Linow.

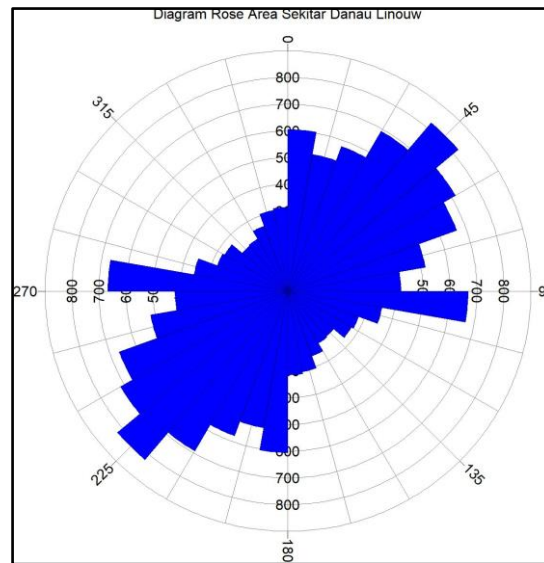


Gambar 7. Hillshade DEM

Peta *Hillshade* digunakan untuk mendelineasi bentuk permukaan hasil pencahayaan semu matahari, sehingga dihasilkan *shaded relief* untuk memahami topografi pada fitur morfologi daerah penelitian (Nugrohojati, 2021). Dari peta hillshade diatas, didapatkan bahwa lokasi penelitian berada pada daerah dengan permukaan yang cenderung berbukit dan tidak rata, serta memiliki zona lembah yang disebabkan aktivitas sesar. Selain itu, dari peta *hillshade* diatas akan ditarik kelurusan sehingga akan didapatkan hasil penarikan sebagai berikut :

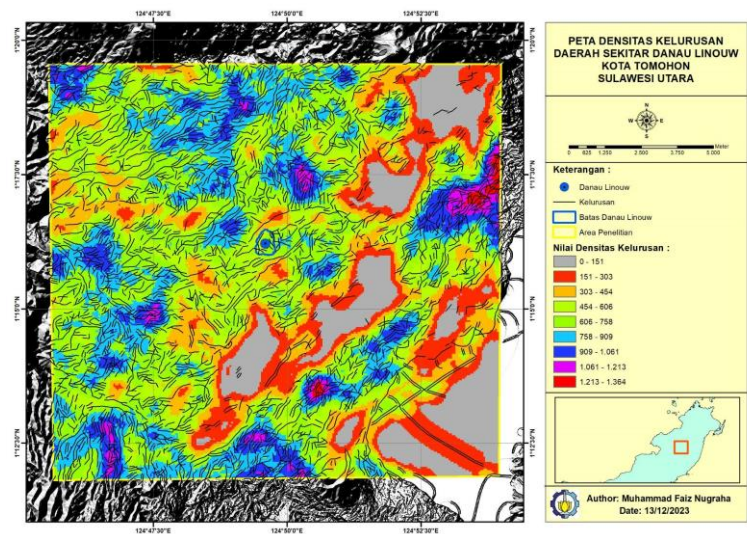


Gambar 8. Penarikan Kelurusan



Gambar 9. Diagram Roset Kelurusan

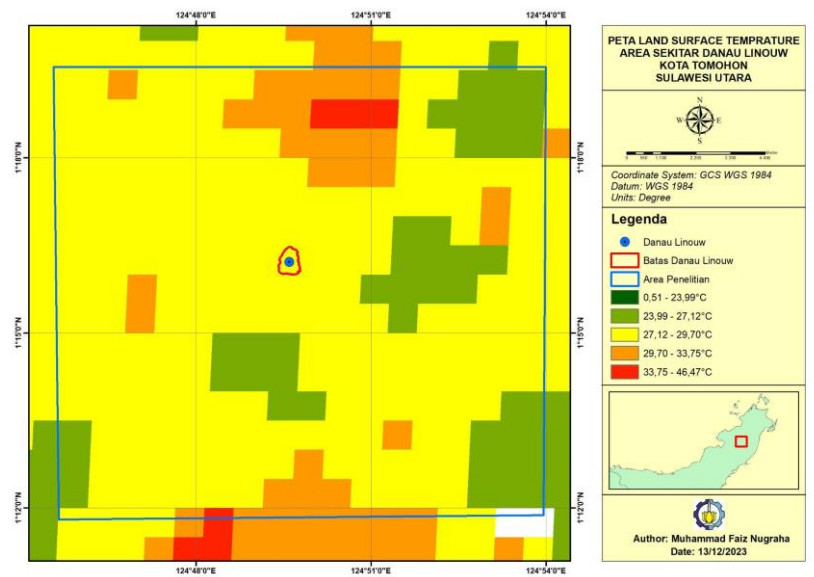
Diagram roset dari hasil penarikan kelurusan menunjukkan arah dominan struktur yaitu Timur Laut - Barat Daya yang dimana hasil ini berkorelasi dengan arah sesar penyerta yang berada di area tenggara Danau Linow, diduga sesar tersebut adalah pengontrol struktur di area Danau Linow karena lokasinya yang paling dekat dengan Danau Linow. Terdapat arah struktur lain yaitu Tenggara-Barat Laut yang diduga merupakan kelurusan yang dikontrol oleh sesar utama Sondor (Gambar 3).



Gambar 10. Peta Lineament Density

Densitas struktur tertinggi diasumsikan berasosiasi dengan pusat pergerakan fluida (Kurnianto, 2022). Densitas struktur tinggi yang menggambarkan fitur kelurusan dan zona lemah menunjukkan adanya struktur besar berupa rekahan atau sesar. Dapat dilihat pada peta kelurusan di peta yang menunjukkan area densitas tinggi bernilai 1061-1.364 Km/Km<sup>2</sup> di daerah Timur Laut cenderung Timur danau, yang dimana lokasi tersebut merupakan lokasi struktur sesar utama Malalayang (Gambar 2), sehingga dianalisis sebagai struktur yang memotong reservoir panas bumi sehingga terjadi perambatan fluida ke permukaan melalui sesar tersebut dan terbentuk manifestasi (Siombone, 2022). Kemudian ditemukan anomali tinggi hingga 1.213 Km/Km<sup>2</sup> di arah Timur Laut cenderung Utara Danau Linow, yang merupakan lokasi terdapatnya terdapat sesar, hal tersebut didukung oleh peta manifestasi geothermal (Gambar 5) yang menunjukkan lokasi manifestasi di sekitaran Danau Linow, dimana lokasi dengan kerapatan kelurusan tinggi merupakan tempat adanya fumarole dan

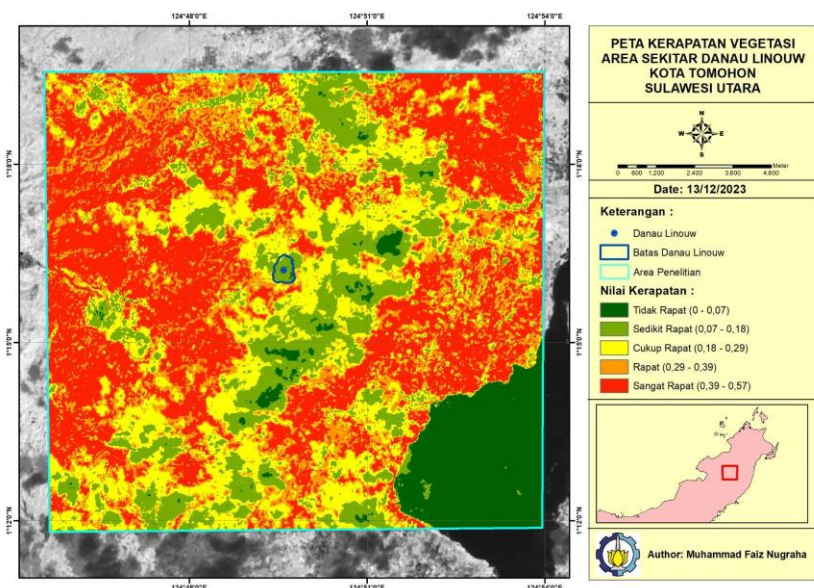
*steaming ground*. Kerapatan tinggi lain berada pada arah Tenggara cenderung Selatan, lokasi tersebut merupakan Area Gunung Tampusu, Gunung Tondano, dan Danau Tondano.



**Gambar 11.** Peta Suhu Permukaan

Peta suhu permukaan dalam analisis panas bumi menyatakan bahwa daerah dengan manifestasi panas bumi berada pada suhu rendah hingga sedang. Namun terdapat faktor lain yang mempengaruhi suhu yaitu adanya faktor vegetasi dan benda lain yang memiliki energi termal masing-masing sehingga dapat mempengaruhi hasil estimasi suhu di permukaan bumi.

Pada peta (Gambar 11), didapatkan suhu permukaan rata-rata berada pada 27,12°C hingga 29,70°C. Namun terdapat beberapa area yang cukup luas dengan suhu tinggi di utara dan selatan Danau Linow. Suhu tinggi di area utara menunjukkan suhu 33,75°C hingga 46,47°C, lokasi tersebut diduga merupakan lokasi kemenerusan sesar utama Malalayang. Hal tersebut terjadi karena sesar mampu membawa fluida panas menuju ke permukaan. Kemudian untuk suhu permukaan tinggi 33,75°C hingga 46,47°C di area selatan dipertimbangkan sebagai efek dari kepadatan bangunan permukiman yang tinggi sehingga menimbulkan suhu permukaan yang tinggi.



**Gambar 12.** Peta Kerapatan Vegetasi



Peta Indeks vegetasi pada analisis ini digunakan untuk mengetahui ratio stress tumbuhan karena aktivitas fluida panas dibawah permukaan (Abdullah dkk, 2022). Dimana seharusnya area yang memiliki potensi geothermal memiliki kerapatan vegetasi rendah atau jarang, hal ini disebabkan oleh adanya aktivitas dari panas bumi yang mempengaruhi pertumbuhan vegetasi. Namun juga terdapat wilayah dengan indeks vegetasi lebih rendah dari area prospek geothermal yaitu ditemui di area pemukiman.

Gambar 12 menunjukkan area vegetasi rendah hingga sedang membentang dari Timur laut ke Barat daya, dan area vegetasi tinggi berada di sekelilingnya. Area vegetasi sedang tersebut memiliki arah yang sama dengan zona lemah (kerapatan struktur tinggi), hal ini menunjukkan jika daerah dengan zona lemah cenderung mengganggu perkembangan tumbuhan karena suhu permukaan yang tinggi dan beberapa mineral oleh manifestasi panas bumi yang terlarut pada kandungan tanah.

## **PENUTUP**

### **Simpulan**

Hasil analisis menunjukkan adanya struktur sesar utama, terutama dalam arah Timur Laut - Barat Daya, yang dikendalikan oleh sesar di sekitar Danau Linow. Manifestasi panas bumi di sekitar Danau Linow didukung oleh kelurusan dan densitas tinggi. Anomali tinggi di sebelah Timur Laut, condong ke Utara Danau Linow sesuai dengan lokasi sesar, diperkuat oleh peta manifestasi geothermal. Suhu permukaan bumi bervariasi antara 27,12°C hingga 29,70°C, dengan tingkat suhu tinggi di utara dan selatan Danau Linow, terkait dengan sesar utama dan struktur permukiman. Peta Indeks Vegetasi menunjukkan bahwa area dengan potensi geothermal memiliki vegetasi rendah, sementara area pemukiman memiliki vegetasi lebih rendah. Area dengan zona lemah (kerapatan struktur tinggi) cenderung memiliki vegetasi sedang karena pengaruh suhu permukaan dan mineral panas bumi.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdullah, F., Yanis, M., Vahreza, A., Isa, M., & Zaini, N. (2022). Pemetaan potensi geothermal Seulawah Agam berdasarkan data DEMNAS dan Landsat 8. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 12(2), 151. <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i2.49158>
- Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia* (Vol. 1, No. 1). US Government Printing Office.
- Fajri, K., Rosana, M. F., Haryanto, A. D., Setiawan, I., & Ryan, H. (2021). Karakteristik Alterasi Hidrotermal Di Daerah Panasbumi Sorik Marapi, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(1), 49–58. <http://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/download/35210/16087>
- Farhan, Audi; Didit Haryanto, A., & Hutabarat, Johannes;Ronggour, M. (2021). Identifikasi Zona Prospek Panas Bumi Menggunakan Digital Elevation Model Dengan Metode Densitas Kelurusan Dan Identification of Geothermal Prospect Zone Using Digital Elevation Model With Lineament Density and Land Surface Temperature Method in Seulawah ,. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(1).
- Jamlean, V., Bujung, C. A. N., & Rampengan, A. M. (2022). Studi Kimia Fisik Fluida Pada Manifestasi Panas Bumi Danau Linow. 3(2), 33–38.
- TIM KKN PPM UGM. (2018). *Desa Panas Bumi Lahendong, Situs Informasi Desa Panas Bumi Lahendong*. Diakses pada 7 Desember 2023, dari <https://lahendongofficial.wordpress.com/pemetaan-lahendong/>
- Kementerian ESDM. (2023). *handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2022*. Ministry of Energy and Mineral Resource Republic Indonesia, 1–111.
- Kurnianto, B. (2022). Identifikasi Prospek Panas bumi Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density (FFD) Lapangan Panasbumi Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. *Seminar Nasional Riset & Inovasi Teknologi*, 1(1), 265–274.
- Kharisma, N. I., Mauren, B. C., Harto, A. W., & Utami, P. (2020). Simulation of acidity reduction of hot spring bath water in lahendong geothermal field, North Sulawesi using runge-kutta method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1456, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

- Moechtar, Herman; Pratomo, Indyo; Mulyana, Herman; Poedjoprajitno, S. (2007). Gerakan struktur dan kaitannya dengan faktor kendali tektonik, berdasarkan analisis stratigrafi Studi kasus geologi kuarter terhadap fase perkembangan Danau Tondano purba sepanjang Remboken - Kakas, Kec. Remboken dan Kec. Kakakas, Kab. Tomohon, Sulawesi U. *Jurnal Geologi Indonesia*, 2(3), 177–190.
- Nugroho, I. A., Kurniawahidayati, B., Mulyana, R. S., & Saepuloh, A. (2017). “Preliminary determination of geothermal working area based on Thermal Infrared and Synthetic Aperture Radar (SAR) remote sensing”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 103, 012017.
- Nugrohojati, G. H. (2021). Interpretasi Struktur Geologi Daerah Bireun dan Sekitarnya, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam Berdasarkan Data DEM. *Jurnal Eksakta Kebumihan*, 2(1), 98–104.
- Ramírez-González, L. M., et al. (2019). “Remote sensing of surface Hydrothermal Alteration, identification of Minerals and Thermal anomalies at Sveifluháls-Krýsuvík high-temperature Geothermal field, SW Iceland”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 254, 012005.
- Saptadji, N. M. (2003). ”Teknik Panas Bumi, Departemen Teknik Perminyakan,” ITB., Bandung.
- Siombone, S. H. (2022). Analisis Suhu Permukaan Dan Kondisi Geomorfologi Kawasan Geotermal Tehoru Menggunakan Landsat-8 Dan Dem. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 8(3), 210–224. <https://doi.org/10.23960/jge.v8i3.243>
- Tandipanga, M. F. F. (2020), Nilai Estetika Geomorfologi Danau Linow, Minahasa, Sulawesi Utara Sebagai Objek Geowisata. Diambil 12 Desember 2023, dari <https://www.linkedin.com/pulse/nilai-estetika-geomorfologi-danau-linow-minahasa-utara-fauzan-t-/?originalSubdomain=id>
- Utami, P. (2011). Hydrothermal Alteration and the Evolution of the Lahendong Geothermal System, North Sulawesi, Indonesia.

-----