

Penentuan Zona Permeabel Berdasarkan Analisis Kerapatan Kelurusan Citra DEM-SRTM Dan 3D Micromine Software pada Potensi Panas Bumi Daerah Gunung Papandayan, Jawa Barat

Ratih C F Ratumanan^{1*}, Ari Wakanno¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas Pattimura, Kota Ambon, Indonesia.

²PT. Argo Trans Abadi Site STS Department, Waisomo, Halmahera Timur, Maluku Utara, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1302>

Article Info:

Received : 19 Desember 2025

Revised : 18 Januari 2026

Accepted : 28 Januari 2026

Published : 10 Februari 2026

Correspondence:

Ratih C F Ratumanan

Phone:

Abstract: This study aims to identify permeable zones influencing geothermal manifestations in Mount Papandayan, West Java, which holds geothermal potential. The area's geology conditions indicate that geothermal manifestations are closely related to geological structures, interpreted from ridge and valley alignments in DEM SRTM imagery. These structures form weak zones serving as pathways for geothermal fluids to reach the surface. The analysis involves interpreting lineaments from DEM SRTM data to calculate lineament density, visualized using roset diagrams and 3D models in Micromine. Results show dominant lineament orientations trending Northeast–Southwest, Northwest–Southeast, and West–East. Field validation confirms geothermal features such as fumaroles, hot springs, and altered rocks in faulted zones, marked by fault scarps and sharp river bends. Lineament density in the study area varies, categorized as low (6.1–11.6 km⁻¹), medium (11.7–16.9 km⁻¹), and high (17.0–24.0 km⁻¹). Geothermal manifestations tend to appear in high-density zones associated with fractures or faults, which function as recharge and discharge channels for geothermal fluids. The 3D model supports the link between fault presence and geothermal surface manifestations in the area.

Keywords: DEM-SRTM; Geology; lineament density; Geothermal manifestations.

Citation: Ratumanan, R. C. F., & Wakanno, A. (2026). Penentuan Zona Permeabel Berdasarkan Analisis Kerapatan Kelurusan Citra DEM-SRTM Dan 3D Micromine Software pada Potensi Panas Bumi Daerah Gunung Papandayan, Jawa Barat. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 500–504. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1302>

Pendahuluan

Sistem panas bumi dapat terbentuk karena adanya sumber panas (*heat source*), air permukaan (*meteoric water*), lapisan penutup dan batuan waduk (*reservoir*) (Manyoe, 2016). Fluida panas seperti air atau uap yang memiliki densitas lebih rendah akan bermigrasi ke permukaan melalui jalur rekahan atau sesar yang bersifat permeable sehingga dapat memunculkan manifestasi panas bumi (Shigeno, 1993; Arifin dkk., 2023; Pirajno, 2020; Arrofi dkk., 2022; Chen dkk., 2021). Gunung Papandayan memiliki potensi panas bumi yang signifikan, sebagaimana ditunjukkan oleh kehadiran berbagai manifestasi permukaan seperti fumarol, solfatar, tanah beruap (*steaming ground*), mata

air panas, serta persebaran batuan alterasi (Assegaf dkk., 2020). Wilayah penelitian berada dalam jalur subduksi Pulau Jawa yang memiliki arah subduksi memanjang dari arah Barat ke Timur, sejajar dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia (Adi Patria, 2020). Struktur geologi berupa patahan atau zona rekahan adalah salah satu indikasi zona permeabel yang merupakan aspek penting dalam sistem panas bumi.

Struktur seperti patahan dan rekahan seringkali mempunyai ciri tertentu di permukaan bumi yang dapat diamati melalui kelurusan morfologi (Massinai, 2015; Massinai & Rusman, 2014). Kelurusan-kelurusan morfologi, seperti kelurusan sungai, gawir, dan punggung merupakan zona-zona rekahan (*fractures*)

Email: ratih.ratumanan@lecturer.unpatti.ac.id

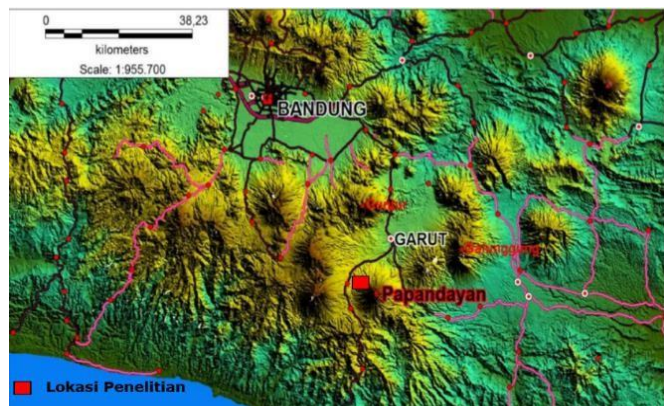
dan patahan (*faults*) yang terekspresikan di lapangan yang memungkinkan sebagai reaktivasi dari struktur geologi regional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pola dominan kelurusan morfologi, seperti punggung dan lembah, serta arah struktur geologi menggunakan pendekatan analisis penginderaan jauh. Metode ini terbukti efisien dalam mendeteksi indikasi keberadaan manifestasi panas bumi dan menginterpretasi kondisi geologi pada suatu daerah (Prayudi dkk., 2019, Bram dkk., 2015), bagaimana pola-pola tersebut memengaruhi kemunculan manifestasi panas bumi, berdasarkan interpretasi kerapatan kelurusan (*lineament density*) zona permeabel terhadap kemunculan manifestasi panas bumi ke permukaan. Dari sisi administratif, area penelitian termasuk dalam wilayah Kecamatan Cisurupan, Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat berada di sebelah Selatan dari Kota Garut, berjarak kurang lebih 78,3 km dari Kota Bandung dan berada pada koordinat $107^{\circ}42'53'' - 107^{\circ}45'03''$ Bujur Timur dan $7^{\circ}19'44'' - 7^{\circ}17'34''$ Lintang Selatan.

Secara fisiografis, Daerah penelitian Gunung Papandayan termasuk ke dalam zona pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949). Stratigrafi daerah penelitian terendapkan pada satuan batuan muda gunung api (Qyp) terdiri atas Eflata dan lava aliran bersusun andesit-basalt yang bersumber dari erupsi Gunung Papandayan, dan satuan rempah lepas gunung-gunung api Papandayan (Qhp) terdiri dari Abu gunung api, bongkah-bongkah andesit dan basalt yang berumur lebih muda (Alzwar dkk., 1992).

Metode

Dalam studi ini, dilakukan akuisisi data primer melalui identifikasi jenis batuan, observasi indikasi struktur geologi, serta pengamatan keberadaan dan sebaran manifestasi panas bumi di permukaan secara langsung di lapangan.



Gambar 1. Lokasi penelitian (DEM, USGS_s08_e107_1arc_v3)

Analisis dilakukan di studio menggunakan data citra DEM-SRTM dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS 10.3 untuk melakukan penarikan kelurusan morfologi lembah dan punggung, menghitung densitas kelurusan, serta memetakan zona permeabilitas dengan tools density serta menampilkan data spasial 3D dari pola kelurusan punggung yang divisualisasikan menggunakan perangkat lunak *Micromine Software*. Selain itu, data sekunder diperoleh melalui kajian literatur tentang daerah penelitian.

Hasil dan Diskusi

Hasil penelitian diuraikan berdasarkan kondisi geologi daerah penelitian seperti geomorfologi, struktur geologi, dan manifestasi panas bumi .

Geomorfologi

Kondisi geomorfologi daerah penelitian merupakan wilayah dari vulkanik puncak Gunung api Papandayan. Daerah penelitian memperlihatkan bentang alam (morfologi) punggung-punggungan dengan lereng yang cukup terjal, pola aliran sungai dengan pola radial dan di beberapa tempat memperlihatkan kelokan sungai yang tajam (*parallel-sub-parallel*).

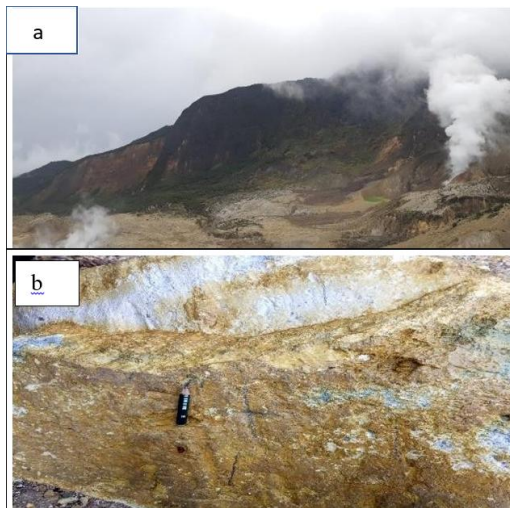


Gambar 2. Kenampakan punggung dan lereng yang terjal

Struktur Geologi

Dalam analisis struktur geologi, observasi bentang alam seperti pola aliran sungai, kelurusan punggung dan lembah, serta keberadaan cermin sesar dan gawir sesar (*escarpment*) yang membentuk punggung dengan lereng terjal merupakan indikator kunci keberadaan struktur geologi di suatu area. Gawir sesar menjadi salah satu bukti geomorfologi yang paling jelas dalam mengidentifikasi adanya struktur geologi berupa patahan.

Keberadaan struktur geologi tersebut mencerminkan adanya deformasi batuan akibat gaya tektonik yang bekerja di wilayah penelitian. Struktur geologi juga menyebabkan terbentuknya rekahan dan bidang diskontinuitas pada batuan. Rekahan ini berperan penting sebagai media yang dapat mengubah batuan yang semula bersifat impermeabel menjadi lebih permeabel.

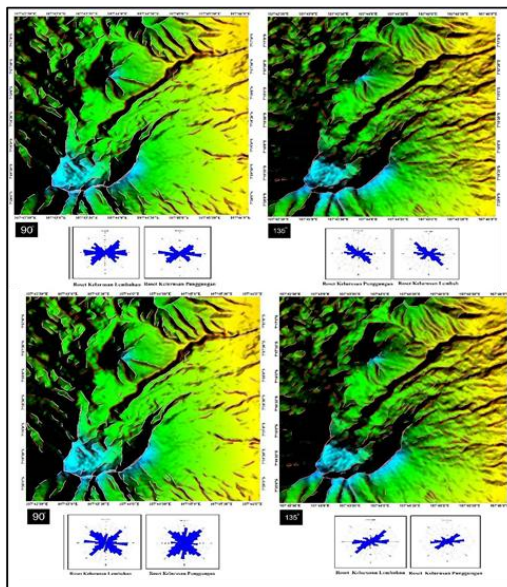


Gambar 3. a. Indikasi struktur geologi di lapangan berupa punggung-punggungan dengan lereng atau tebing yang curam, b Cermin sesar pada bongkah batuan di Timur Laut lereng Gunung Papandayan

Analisis Studio

Analisis Penginderaan Jarak Jauh (Remote Seinsing)

Hasil penarikan kelurusan dari setiap azimuth memperlihatkan arah kelurusan yang dominan. Hasil plotting pada diagram roset memperlihatkan orientasi kelurusan secara menyeluruh dari masing- masing sudut (derajat) dengan penyinaran 0°,45°,90°,135°. Kenampakan kelurusan di daerah penelitian memiliki pola utama yakni berarah Barat – Timur, Timur Laut - Barat Daya dan sebagian kecil Utara- Selatan, hal ini menunjukkan bahwa pola struktur geologi di daerah penelitian berhubungan dengan pola struktur geologi Jawa Barat yang memiliki arah Barat – Timur dan Utara-Selatan, juga struktur geologi pulau Jawa yang berarah Timur Laut-Barat Daya.

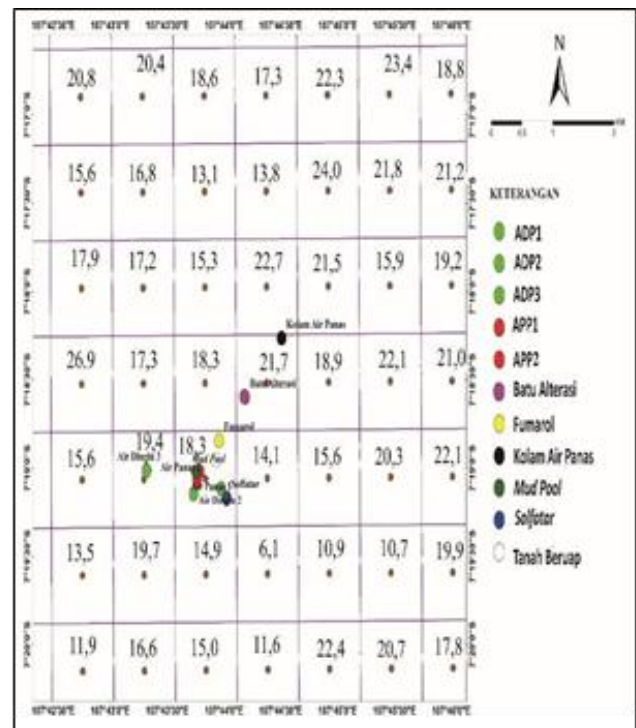


Gambar 4. Penarikan kelurusan Azimuth 0°,45°,90°,135°

Analisis Tingkat Kerapatan Kelurusan (*Lineament density/LD*) Permeabilitas

Zona permeabilitas di tentukan dengan menganalisis kerapatan kelurusan (LD) untuk penajaman penentuan tingkat permeable pada batuan. Tingkat kerapatan mencerminkan zona permeabilitas pada batuan diperlihatkan oleh nilai densitas citra DEM-SRTM seperti yang terlihat pada gambar 4 untuk mengetahui nilai densitas dengan membagi citra daerah penelitian tersebut berdasarkan grid 1x1. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kerapatan kelurusan pada daerah yang lebih rinci seperti terlihat pada gambar 5.

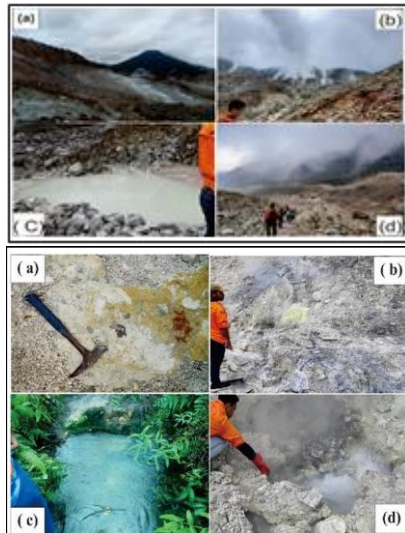
Pada gambar 5 terlihat bahwa kerapatan kelurusan pada citra DEM- SRTM memperlihatkan kerapatan yang bervariasi dari rendah hingga ke tinggi berkisar: 6,1 km⁻¹ – 24,0 km⁻¹, yang di plot dalam satuan area dalam km atau per- grid. Daerah disekitar manifestasi umumnya memiliki nilai kerapatan kelurusan yang tinggi dengan gradasi warna dari yang rendah hingga ke tinggi (gambar 6)



Gambar 5. Nilai (tingkat) Kerapatan Kelurusan untuk Setiap Grid Sebagai Dasar Pembuatan Model Zona Permeabel.

Untuk memvalidasi hasil interpretasi kelurusan dari citra DEM-STRM dengan kondisi yang sebenarnya dilapangan, maka dilakukan pengamatan terhadap bentang alam (kelurusan punggung – lembah) dan juga kemunculan manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan berupa solfatar, tanah beruap (*streaming ground*), kolam lumpur panas (*mud pool*) bertemperatur 47oC, endapan sulfur hasil sublimasi belerang, kolam air

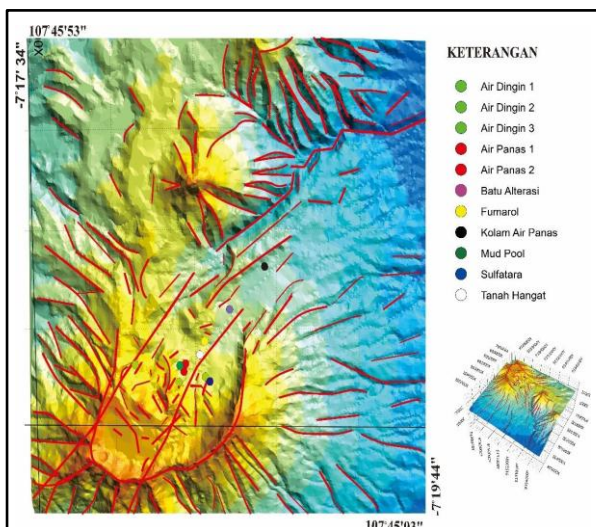
panas (*steaming heated water*) bertemperatur 41,60C, fumarole, mata air panas (*hot spring*) bertemperatur 89°-90,5° dengan PH air sangat asam(1,4), tanah beruap (*steaming ground*) bertemperatur 92°C dan hamparan batuan alterasi yang cukup luas berupa lempung.



Gambar 7. Manifestasi panas bumi a. Fumarol, b. Tanah beruap, c. Lumpur panas, d. batuan alterasi, e. Sublimasi belesang, f. Solfatar, g. Kolam air panas, h. Mata air panas

Analisis Micromine Software (Pemodelan 3D)

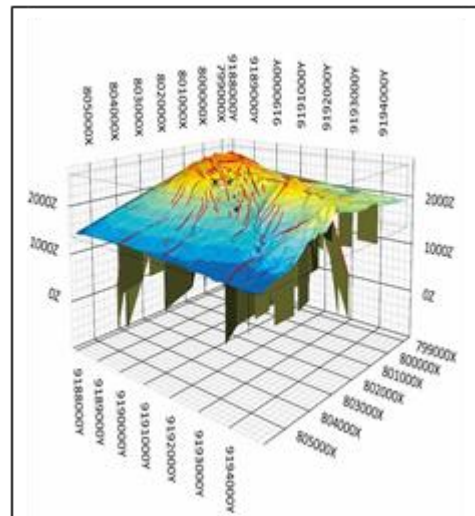
Dari penggambaran pola patahan dan keberadaan manifestasi panas bumi dengan menggunakan *Micromine Software* dapat memperlihatkan dengan jelas bahwa kemunculan manifestasi panas bumi difasilitasi oleh adanya patahan-patahan yang berkembang di daerah penelitian.



Gambar 8. Tampak permukaan kemunculan manifestasi panas bumi mengikuti pola kelurusan (Patahan)

Daerah yang mengalami pensesaran merupakan jalur patahan membentuk zona permeabel (zona lemah) dan memungkinkan sebagai tempat sirkulasi fluida atau tempat air masuk (*recharges area*) ke bawah permukaan (*reservoir*) di kedalaman lalu keluar (*discharges area*) sebagai fluida panas bumi dari bawah permukaan (*reservoir*) ke permukaan sebagai manifestasi panas bumi.

Model dua dimensi (tampak permukaan) pola kelurusan (patahan) dan keberadaan manifestasi panas bumi dapat dilihat pada Gambar 8 sedangkan untuk model kelurusan (patahan) tiga dimesi diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan 3D memperlihatkan kemunculan manifestasi yang difasilitasi oleh struktur geologi yang berkembang didaerah penelitian

Kesimpulan

Hasil analisis kelurusan punggungan dan lembah dengan metode penginderaan jauh (*remote sensing*) pada peta citra DEM-SRTM, dengan 4 (empat) sudut pencahayaan yang berbeda (Azimuth : 0o,45o,90o dan 135o) dan dengan menggunakan diagram roset, menunjukkan bahwa pola utama kelurusan yang diinterpretasikan sebagai patahan di daerah penelitian berarah Barat -Timur, Timur Laut – Barat Daya dan sebagian kecil Utara-Selatan. Hasil pengolahan data studio (*remote sensing*) dikompilasikan dengan data lapangan menunjukkan kemunculan manifestasi panas bumi: fumarol/solfatar, tanah beruap (*steaming ground*), kolam lumpur panas (*mud pool*), kolam air panas (*steam heated water*), mata air panas (*hot spring*) dan batuan berubah (*altered rock*) muncul pada tepi atau perpotongan kelurusan (jalur patahan). Hasil perhitungan kerapatan kelurusan (*lineament density*), menunjukkan daerah zona permeabel memiliki tingkat nilai densitas kelurusan (LD) rendah, sedang hingga tinggi. Daerah dengan nilai LD rendah (6,1-11,6 km⁻¹),

menempati sebagian kecil daerah penelitian yaitu di bagian Selatan daerah penelitian. Daerah yang memiliki tingkat (nilai) LD rendah ini menunjukkan tingkat resistensi batuan tinggi. Daerah dengan nilai LD sedang (11, 9 - 16, 6 km⁻¹) menempati dan mengarah ke bagian Tenggara dan Barat Laut daerah penelitian. Sedangkan pada daerah - daerah yang memiliki nilai LD tinggi (16, 8- 24, 0 km⁻¹), menempati dan mengarah ke bagian Timur Laut daerah penelitian. Daerah yang memiliki nilai LD tinggi diperkirakan sebagai daerah yang paling dipengaruhi oleh struktur geologi membentuk zona permeabel dimungkinkan sebagai tempat sirkulasi air dari atas permukaan (*recharges area*) masuk ke bawah permukaan (*reservoir*), bergerak sebagai fluida panas bumi (*discharges area*) ke permukaan sebagai manifestasi panas bumi (digambarkan dalam model 3D *Micromine Software*).

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada seluruh teman-teman atas dukungan dan bantuannya selama proses pengerjaan jurnal ini. Bantuan kalian, baik berupa diskusi, masukan, maupun dorongan semangat, sangat berarti dalam menyelesaikan penelitian ini. Kebersamaan dan dukungan kalian adalah motivasi utama bagi penulis

Referensi

- Adi Patria, A. N. A. (2020). Structural And Earthquake Evaluations Along Java Subduction Zone, Indonesia. Pusat Penelitian Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. <https://doi.org/DOI:10.14203/risetgeotam2020.v30.1074>
- Alzwar, M., Akbar, N., Bachri, C. (1992). Peta Geologi Regional Garut - Pameungpeuk, Jawa Barat Pusat, Skala 1:250.000,. Pusat dan Pengembangan Geologi, Bandung. Lembar, 1208-6.
- Arifin, M. F., Jaya, A., & Irfan, U. R. (2023). Study of Geothermal Characteristics Based on the Geochemistry of Makula Hot Springs Wala Area, South Sangalla, Tana Toraja, South Sulawesi, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(8), 2379-2385. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180808>
- Arrofi, D., Abu-Mahfouz, I. S., & Prayudi, S. D. (2022). Investigating high permeable zones in non-volcanic geothermal systems using lineament analysis and fault fracture density (FFD): northern Konawe Regency, Indonesia. *Geothermal Energy*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40517-022-00241-3>
- Assegaf, F. T., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Gentana, D. (2020). Tipe Dan Estimasi Temperatur Air Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Gunung Papandayan, Garut, Jawa Barat. In *Jurnal Geominerba (Jurnal Geologi, Mineral Dan Batubara)* (Vol. 5, Issue 1, pp. 9-20). <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v5i1.61>
- Bram Ferdinand Saragih , Yudo Prasetyo, B. S. (2015). IDENTIFIKASI MANIFESTASI PANAS BUMI DENGAN MEMANFAATKAN KANAL THERMAL PADA CITRA LANDSAT (Studi Kasus: Kawasan Dieng). *Jurnal Geodesi UNDIP*. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.14710/jgundip.2015.9900>
- Chen, B. C., Perdana, T., & Kuo, L. W. (2021). Fluid flow and fault-related subsurface fractures in slate and metasandstone formations: A case study of the Jentse Geothermal Area, Taiwan. *Geothermics*, 89(300), 101986. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101986>
- Manyoe, I. N. (2016). Model Inversi Data Geolistrik untuk Penentuan Lapisan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Bongongoayu, Gorontalo. *Sainstek*, 8(4), 358-371.
- Massinai, M.A., Rusman, S., dan S. (2014). Struktur Geologi Sulawesi Barat Ditinjau dari Kelurusan Geomorfologi Regional. *Proceeding Seminar Nasional Geofisika 2014, Makassar, 13 September 2014*.
- Massinai. (2015). *Geomorfologi Tektonik: Pustaka Ilmu*. Yogyakarta.
- Pirajno, F. (2020). Subaerial hot springs and near-surface hydrothermal mineral systems past and present, and possible extraterrestrial analogues. *Geoscience Frontiers*, 11(5), 1549-1569. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.04.001>
- Prayudi, S. D., Arrofi, D., & Diponegoro, U. (2019). Identifying of Geothermal Manifestation Existence and Characterization of Sulphidation Type Using Landsat-8 Image Processing Results: Case Study of Mount Papand *Characterization of Sulphidation Type Using Landsat-8 Image Processing Results: Case St. The 7th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE) 2019, September*.
- Shigeno, H. (1993). *Geochemical Exploration*. . International Group Training Course on Geothermal Energy (Advanced), Kyushu University.
- Van Bemmelen, R. (1949). *The Geology of Indonesia, Vol. I: General Geologi of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, Government Printing Office, The Hague.