

KONTROL STRUKTUR GEOLOGI TERHADAP POTENSI PANAS BUMI DAERAH DANAU RANAU, SUMATERA SELATAN DAN SEKITARNYA

GEOLOGICAL STRUCTURE CONTROL FOR GEOTHERMAL POTENTIAL IN RANAU LAKE AREA, SOUTH SUMATERA

Amsal Frans Harapenta Surbakti¹, Anju Goldmoreast Marbun², Sendita Aditya³

*Email: fransamsal@gmail.com

^{1, 2, 3}Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang

Abstrak— Reduksi ketersediaan energi konvensional menuntut pengembangan energi alternatif, salah satunya panas bumi. Danau Ranau memiliki potensi panas bumi direpresentasikan dengan manifestasi mata air panas di permukaan. Sasaran identifikasi awal potensi panas bumi terkait asosiasinya dengan struktur rekahan dan patahan. Observasi ini dikembangkan dengan studi pustaka, penginderaan jauh dengan pendekatan melalui satelit citra, survei manifestasi, dan analisis studio. Berdasarkan analisis ini didapati pola kelurusan dominan barat laut – tenggara dan dipengaruhi oleh gaya kompresi dengan arah relatif utara – selatan. Pola kelurusan ini berasosiasi dengan struktur geologi sebagai *play zone* dari reservoir *geothermal*. Tipe kelurusan juga diinterpretasikan bahwa Danau Ranau merupakan *discharge zone* yang dihasilkan oleh sesar mendatar yaitu Sesar Kumering dengan pola serupa Sesar Semangko. Hasil survei permukaan ditemukan dua lokasi manifestasi Air Panas Ranau (APR) dan Air Panas Lumbok (APL). Lokasi APR ditemukan dua titik manifestasi dengan suhu sekitar 54° C dan 60° C, kadar pH netral, dan litologi penyusun batuan sampingnya berupa endapan piroklastik yaitu *welded tuff* dan batuan beku andesit. Pada APL terdapat dua titik manifestasi air panas dengan suhu sekitar 45° C hingga 59° C dengan pH relatif netral. Potensi energi sekitar 37 Mwe diduga terdapat pada reservoir panas bumi pada daerah Danau Ranau.

Kata kunci — *Danau Ranau, Manifestasi Mata Air Panas, pH, Temperatur, Struktur Geologi.*

Abstract— Reducing conventional energy resource demands the development of alternative energy, especially geothermal. Ranau lake has geothermal potential represented by the manifestation of hot springs on surface. The early identification's target about its association with fault fracture density. This research is carried out with literature study, remote sensing with imagery satellite, manifestation survey, and studio analysis. The dominant lineament northwest-southeast pattern was influenced by the compression with a relative north-south direction. This pattern is associated with the geological structure as the play zone of the geothermal reservoir. The lineament type is interpreted that Ranau Lake is a discharge zone produced by a strike-slip fault, the Kumering Fault with the same pattern as the Semangko Fault. The surface survey concludes two manifestation Ranau Hot Spring (APR) and Lumbok Hot Spring (APL). APR locations indicate two points of manifestation with 54° C and 60°C temperature, neutral pH levels, and side rock lithology form pyroclastic deposits are welded tuff and andesite rock. At APL there are two manifestations with temperatures around 45° C to 59° C with a relatively neutral pH. The energy potential of about 37 Mwe was found in the geothermal reservoir in the Ranau Lake.

Keywords — *Ranau Lake, hot spring manifestation, pH and temperature, Geological structure.*

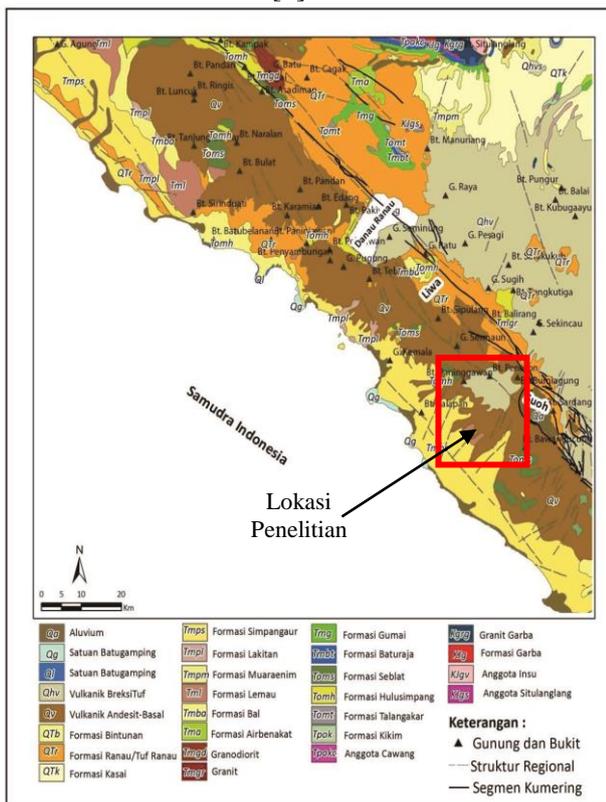
I. PENDAHULUAN

Danau Ranau merupakan salah satu danau yang berada di perbatasan Provinsi Sumatera Selatan dan Lampung. Danau ini tepatnya berada di Kecamatan Sukau, Lampung Barat dan Kecamatan Banding

Agung, Ogan Komering Ulu Selatan. Danau ini terletak pada koordinat UTM 380000–392000 mE dan 9462000–9449200 mN, dengan luas area daratan sekitar 127 km². Danau ini terbentuk oleh gempa besar dan letusan vulkanik dari gunung berapi yang membentuk cekungan besar sehingga dikenal

sebagai danau tekto-vulkanik. Pada daerah pinggiran danau ini terdapat potensi panas bumi berupa manifestasi air yang bersuhu hangat hingga panas.

Panas bumi adalah suatu bagian dari sistem hidrologi termasuk zona resapan dan aliran bawah permukaan [1]. Panas bumi yang terkandung pada bagian kerak bumi lalu dimanfaatkan manusia sebagai energi kemudian disebut sebagai potensi panas. Potensi panas bumi yang terdapat pada daerah ini berasal dari sisa-sisa aktivitas magmatik yang berasal dari Gunung Seminung. Aktivitas tektonik yang membentuk danau ini mengakibatkan hadirnya kekar-kekar di daerah tersebut. Kekar-kekar tersebut yang kemudian menjadi media aktivitas magma mencapai permukaan bumi. Selain itu ditemukan pula indikasi pengaruh dari keberadaan Sesar Liwa yang terletak di daerah penelitian. Struktur Sesar Liwa ini merupakan sesar aktif pada rangkaian sistem Sesar Sumatera [2].



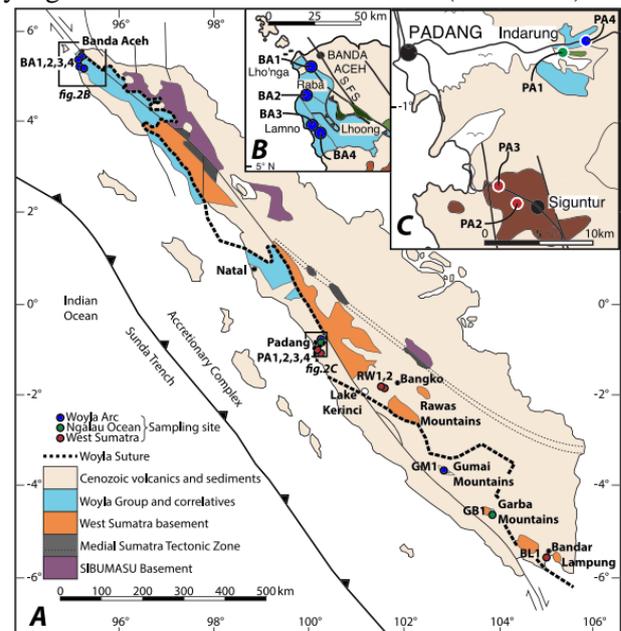
Gambar-1. Peta geologi daerah Danau Ranau dan sekitarnya [2].

Penelitian ini dikerjakan untuk mengidentifikasi potensi panas bumi yang berada di daerah Danau Ranau, Sumatera Selatan dan sekitarnya (Gambar-1). Potensi panas bumi ini diidentifikasi dengan kajian geologi dengan melakukan observasi lapangan, analisis laboratorium, serta pemanfaatan teknologi saat ini yang mendukung metode kajian geologi

yang lebih efektif. Tujuan dari diadakan kegiatan penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa panas bumi di daerah Danau Ranau dan sekitarnya memiliki potensi yang berdasarkan landasan kajian secara geologi dan juga menjadi sumber pemasok energi alami dan berkelanjutan [3].

II. GEOLOGI REGIONAL

Pulau Sumatera berada pada bagian barat daya tepi *Sundaland* [4]. Fragmen *Sundaland* merupakan akumulasi dari lempeng benua dan busur magmatik yang berasal dari Gondwana [5]. Akibat pergerakan konvergen Lempeng Indo-Australia yang menyusup ke bagian barat Lempeng Eurasia sehingga menghasilkan zona subduksi di sepanjang Palung Sunda. Perubahan pada struktur mantel yang dalam di sekitar 110°E mencerminkan sejarah subduksi yang berbeda di utara Indo-Australia (Gambar-2).



Gambar-2. Pembentukan cekungan belakang busur Pulau Sumatera [4].

Akibat adanya subduksi Lempeng Indo–Australia pada paleogen mengakibatkan rotasi Pulau Sumatera searah dengan pergerakan jarum jam [5]. Perubahan posisi Sumatera yang sebelumnya berarah timur-barat menjadi tenggara-barat laut dimulai pada Eosen-Oligosen. Adanya pergerakan rotasi tersebut mengindikasikan meningkatnya pergerakan Sesar Mendatar Sumatera. Subduksi *oblique* dan pengaruh sistem mendatar Sumatera menjadikan kompleksitas rezim *stress* dan pola *strain* pada Pulau Sumatera [5]. Pada Awal Tersier dicirikan dengan perkembangan cekungan busur muka belakang seperti Cekungan

Sumatera Utara, Cekungan Sumatera Tengah, dan Cekungan Sumatera Selatan.



Gambar-3. Analisis kelurusan berdasarkan perspektif cahaya dengan azimuth 0° (a), 45° (b), 90° (c), 135° (d), 180° (e), 225° (f), 270° (g) dan 315° (h) dengan altitude 45°.

Pulau Sumatera diinterpretasikan dibentuk oleh kolisi dan *suturing* dari *mikrokontinen* di Akhir Pra-Tersier [6]. Saat ini, Lempeng Samudera Hindia subduksi di bawah Lempeng Benua Eurasia pada arah N 20°E dengan rata-rata pergerakannya 6-7 cm/tahun. Stratigrafi lokasi penelitian dengan komposisi atas 12 satuan batuan yang tersusun dari tua ke muda; 1) aliran lava vulkanik tua (TLT). 2) Aliran piroklastik Ranau (QApR). 3) aliran lava Kukusan (QLK). 4) breksi vulkanik Kukusan (QBvK). 5) breksi laharik Kukusan (QAiK). 6) aliran lava Seminung 1 (QLS-1). 7) breksi laharik Seminung (QAIS). 8) jatuhnya piroklastik Seminung (QJS). 9) aliran lava Seminung 2 (QLS-2). 10) aliran lava Seminung 3 (QLS-3). 11) endapan longsor Seminung (QL), dan 12) endapan Aluvial (QAI). Struktur geologi menunjukkan adanya aktivitas tektonik yang menghasilkan beberapa struktur antara lain berupa sesar- sesar normal yang berarah barat

laut-tenggara, yaitu: 1) Sesar Talang Kedu mempunyai arah umum barat laut-tenggara, terletak di barat laut. 2) Sesar Kota Batu berarah barat laut-tenggara, terletak di timur laut. 3) Sesar Wai Uluhan mempunyai arah umumnya barat laut-tenggara, terletak di tenggara. 4) Sesar Lombok berarah utara-selatan, terletak di bagian timur daerah penelitian, sesar ini berjenis sesar normal dengan bagian yang relatif turun adalah blok bagian barat (Danau Ranau). Sesar ini diperkirakan mengontrol munculnya mata air panas lombok [7].

III. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan dasar-dasar keilmuan geologi dengan metode-metode menghimpun data meliputi studi literatur, penginderaan jauh dan pemetaan geologi permukaan serta analisis studio. Studi literatur dilakukan dengan menggunakan pendekatan kualitatif pada berbagai referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dan penelitian tesis. Penginderaan jauh dilakukan melalui analisis pola-pola kelurusan bukit dan lembah berdasarkan kenampakan satelit citra menggunakan data *Digital Elevation Model* Nasional (*DEM*Nas). *DEM*Nas diunduh dengan resolusi 0,27 *arc-second* atau sekitar 8 meter yang diakses dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Sementara itu, data Landsat 8 diakses dari *United States Geological Survey* (USGS) dengan menggunakan aplikasi ArcGIS 10.3. Hasil analisis *DEM*Nas berupa diagram *rose* yang digunakan untuk mengetahui pola rekahan dan jurus sesar regional. Selain itu, pola ini juga mengindikasikan pelamparan *damage zone* yang terbentuk akibat deformasi yang ada pada daerah penelitian. Pembuatan diagram *rose* diaplikasikan lewat aplikasi *Rockwork*. Orientasi pola rekahan-rekahan regional ini dapat mendeskripsikan nilai *azimuth* dari pola kelurusannya [8].

Identifikasi temperatur pada permukaan dan pinggiran danau dilakukan melalui data *Landsat* 8 melalui *United States Geological Survey* (USGS) dengan *ArcGis* 10.3. Selanjutnya hasil analisis ini didistribusikan dalam format peta sebaran suhu permukaan. Pada lokasi penelitian, terdapat segmen Sesar Kumering yang berada di Danau Ranau berupa tekukan (*stepover*) yang juga didapati kelurusannya pada Sungai Way Rekuk [9]. Hal ini dengan interpretasi foto udara menggunakan citra satelit. Interpretasi peta topografi yang dibuat berdasarkan *Digital Elevation Model* dan Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:50.000 dari BIG menggunakan

aplikasi ArcGIS 10.3. Peta geologi skala 1:250.000 dari Pusat Survei Geologi (PSG) dan dikombinasikan dengan pengamatan langsung di lapangan. Pemetaan geologi permukaan dilakukan dengan pengamatan secara megaskopis terhadap litologi batuan berupa *welded tuff*. Selain itu, pengamatan dilakukan dengan pengukuran temperatur manifestasi air panas dan pengambilan sampel batuan untuk bahan analisa di laboratorium, sehingga analisis petrografi menunjukkan *Welded Tuff* dan batuan beku andesit [10].

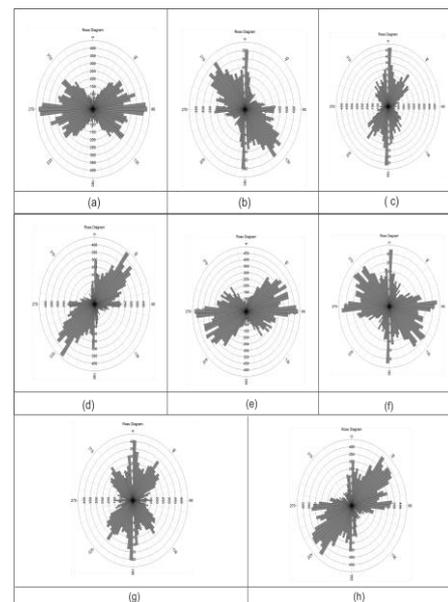
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa analisis berdasarkan analisis kelurusan, *fault and fracture density* (FFD), sebaran suhu permukaan, survei manifestasi air panas dan analisis petrografi.

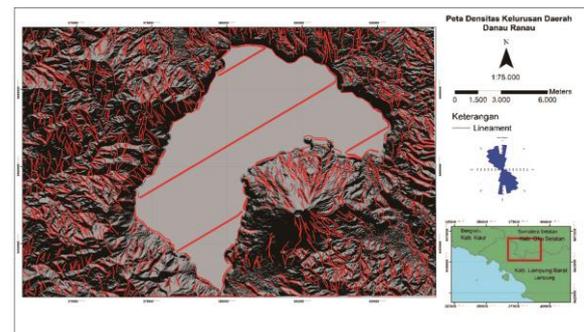
1) Analisis Kelurusan

Analisis kelurusan berdasarkan data *Digital Elevation Model* dilakukan dengan aplikasi ArcGis 10.3, PCI *Geomata* dan *Rockwork* dalam menampilkan kesimpulan. Identifikasi kelurusan berdasarkan DEM ini memiliki resolusi 8 meter dengan skala 1:75.000. Hasil didapatkan melalui interpretasi citra DEM yang *overlay* terhadap *hillshade* dengan arah penyinaran 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315° (Gambar 3). Analisis kelurusan pada daerah penelitian bertujuan mengidentifikasi orientasi umum masing-masing perspektif cahaya. Perspektif cahaya dibuat untuk meningkatkan resolusi terhadap analisis *lineament* yang dilakukan sehingga diakuisisi data dengan validitas tinggi.

Determinasi orientasi arah disimpulkan dengan menampilkan hasil analisis *lineament* dengan diagram *rose* pada masing-masing dimensi. Diagram *rose* akan mendeskripsikan bentuk kelurusan berdasarkan analisis data *Digital Elevation Model* dengan resolusi 8 meter. Diagram *rose* akan menunjukkan arah gaya pembentuk orientasi kelurusan tersebut. Perbedaan sudut pandang berimplikasi pada perbedaan hasil analisis. Kelurusan dengan perspektif *azimuth* 0° dan 180° menunjukkan kelurusan dominan timur-barat. Pada *azimuth* 45° dan 225° memperlihatkan dominan barat laut-tenggara. *Azimuth* pencahayaan 90° dan 270° didapatkan dominansi kelurusan utara-selatan. Perspektif cahaya dengan *azimuth* 135° dan 315° mendeskripsikan kelurusan dominan dengan arah timur laut-barat daya (Gambar-4).



Gambar-4. Diagram mawar hasil analisis kelurusan dengan arah perspektif cahaya 0° (a), 45° (b), 90° (c), 135° (d), 180° (e), 225° (f), 270° (g) dan 315° (h).

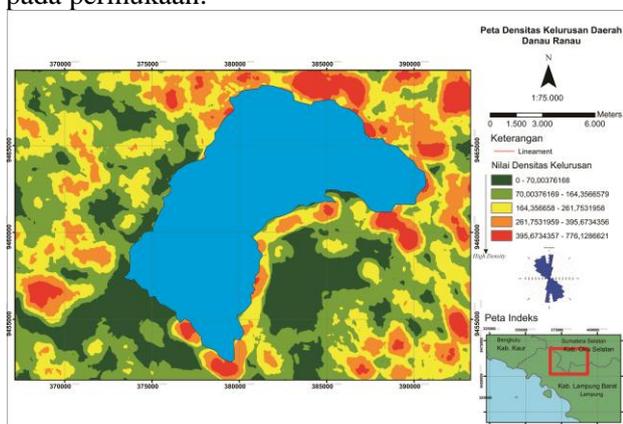


Gambar-5. Peta kelurusan daerah penelitian dengan kombinasi arah penyinaran dan diagram mawar dengan arah dominan Baratlaut-Tenggara.

Berdasarkan Arah kelurusan utama ditunjukkan dengan kombinasi ke delapan *azimuth* penyinaran. Sehingga diakuisisi kelurusan pada daerah penelitian berbasis data DEM. Kesimpulan yang diperoleh merupakan determinasi arah barat laut–tenggara (Gambar-5). Arah dominan *lineament* ini diinterpretasikan secara visual berasal dari gaya kompresi utara–selatan dengan prinsip ilmu kegeologian yaitu konsep *Harding* [11]. Kelurusan utama berasosiasi dengan keberadaan struktur Sesar Liwa yang merupakan bagian dalam *Sumatera Fault System* (SFS). Analisis kelurusan ini mendeskripsikan kemungkinan terbentuknya rekahan-rekahan sebagai *play zone* dalam identifikasi keberadaan panas bumi pada daerah penelitian.

2) Peta *Fault Fracture Density*

Berdasarkan analisis kelurusan dengan kombinasi 8 perspektif penyinaran tersebut lalu dikembangkan ke dalam bentuk peta *Fault Fracture Density* daerah penelitian (Gambar-6). Pembuatan peta ini didasarkan pada data DEM dengan aplikasi *ArcGis* 10.3. Peta FFD menampilkan zona-zona dominansi kepadatan rekahan pada daerah penelitian. Peta ini dimodelkan dengan warna hijau sebagai daerah kepadatan rendah hingga merah dengan kepadatan tinggi. Implementasi peta tersebut dikombinasikan dengan keterdapatn manifestasi mata air panas permukaan. Tampak pada peta daerah dengan kerapatan rekahan dan patahan yang tinggi berasosiasi dengan kemunculan manifestasi air panas pada permukaan.



Gambar-6. Peta *Fault Fracture Density* daerah Danau Ranau dengan densitas tinggi ke rendah digambarkan oleh warna merah hingga hijau.

3). Analisis Suhu Permukaan

Identifikasi suhu permukaan merupakan pendekatan dalam analisis awal potensi panas bumi. Temperatur permukaan yang tinggi maka semakin besar keberadaan potensi *geothermal* di daerah tersebut [12]. Hasil analisis suhu permukaan diwujudkan berupa peta sebaran suhu permukaan dengan skala 1:125.000 (Gambar-7). Analisis ini dilakukan dengan data *Landsat* 8 yang berasal dari USGS. Suhu permukaan rendah (12-18°C) dipresentasikan oleh warna hijau, menengah (19-22°C) dengan warna kuning hingga jingga serta warna merah yang ditandai oleh suhu tinggi (23-28°C).

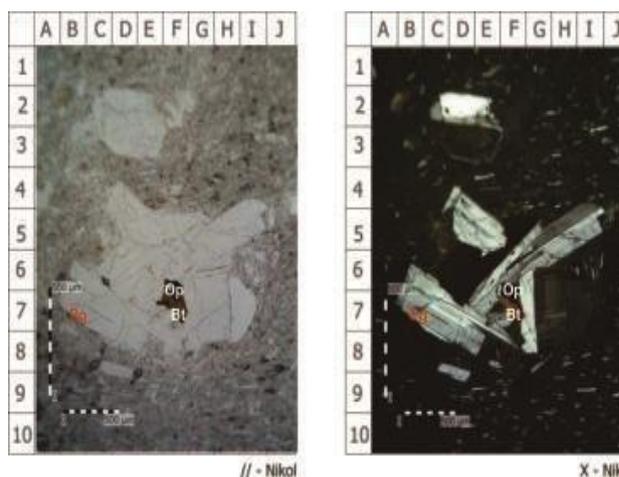
4). Survei Geologi Permukaan

Hasil survei geologi permukaan yang dilakukan pada daerah pinggiran Danau Ranau dan di sekitar Gunung Seminung menghasilkan beberapa titik

manifestasi air panas. Titik-titik tersebut adalah Air Panas Ranau (APR) dan Air Panas Lumbok (APL). Air Panas Ranau ini di dapatkan dengan temperatur sekitar 54°C (APR-1) dan 60°C (APR-2) dan pH netral. Sementara itu, Air Panas Lumbok ditemui dengan suhu 45°C (APL-1) dan 59°C (APL-2) dengan pH netral (Tabel 1). Titik kemunculan mata air panas di permukaan ini berasosiasi dengan densitas rekahan dan patahan yang diidentifikasi melalui *lineament* pada daerah penelitian. Manifestasi mata air panas ini menjadi representasi identifikasi awal keberadaan potensi energi panas bumi di daerah tersebut.

Tabel-1. Manifestasi panas bumi pada daerah penelitian.

No	Jenis	Manifes tasi	Tempera tur	pH
1	Air Panas Ranau	APR-1	Air Panas 54 °C	Netral
		APR-2	Air Panas 60°C	Netral
2	Air Panas Lumbok	APL-1	Air Panas 45°C	Netral
		APL-2	Air Panas 59°C	Netral

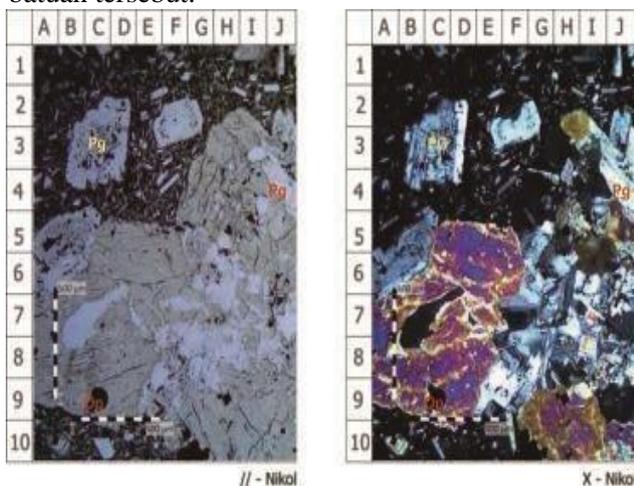


Gambar-8. Menampilkan sayatan tipis *welded tuff* berwarna abu-abu kehitaman, tekstur *hypocrystalline*, plagioklas yang disusun sebagai fenokris > 4 mm, massa dasar < 0,1 mm, komposisi mineral terdiri dari plagioklas, piroksen, lempung, dan mineral *opaque* [10].

5). Deskripsi petrografi

Bersumber pada analisis petrologi secara megaskopis diinterpretasikan sebagai endapan piroklastik yaitu *welded tuff* dan batuan beku andesit. Berdasarkan pengamatan petrografi pada sayatan tipis ditemukan jenis litologi batuan samping berupa batuan piroklastik *welded tuff* (Gambar-8) dan batuan beku andesit (Gambar-9). Diinterpretasikan litologi ini berasal dari erupsi Gunung Seminung yang ada di daerah penelitian. Pengamatan ini

bertujuan mengidentifikasi mineral dan diagenesis batuan tersebut.



Gambar-9. Menunjukkan sayatan tipis dari batuan beku andesit berwarna hitam dan putih, holokristalin, *ofytic*, terdiri dari plagioklas fenokris dan piroksen > 5 mm, serta massa dasar plagiokals, piroksen dan kuarsa < 0,5 mm, komposisi mineral plagioklas, piroksen, mineral *opaque*, dan lempung [10].

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Bersumber pada kajian yang dikerjakan maka dapat disimpulkan yaitu bahwa Analisis geologi struktur dengan menggunakan delapan perspektif cahaya menunjukkan barat laut–tenggara dengan adanya indikasi keterbentukan *fracture* yang dipengaruhi gaya kompresi relatif utara-selatan yang berasosiasi dengan struktur Sesar Liwa. Struktur geologi berupa *release fracture* menunjukkan adanya asosiasi dengan keterdapatannya mata air panas di permukaan. Berdasarkan analisis citra dan analisis suhu permukaan ditemukan titik-titik potensial sebagai kemunculan manifestasi di permukaan. Pengamatan di lapangan membuktikan presensi titik manifestasi air panas berupa Air Panas Ranau dan Air Panas Lumbok. Danau Ranau diperkirakan memiliki potensi sebagai sumber energi panas bumi yang cukup besar. Potensi energi sekitar 37 Mwe [7] diduga terdapat pada reservoir panas bumi pada daerah Danau Ranau sehingga berpotensi tinggi sebagai energi alternatif guna memenuhi kebutuhan masyarakat terkhusus di sekitar Danau Ranau, Sumatera Selatan.

B. Saran

Dalam tahapan selanjutnya dibutuhkan analisis lebih lanjut guna mengobservasi keberadaan dan *top of reservoir* panas bumi serta kalkulasi volumetrik dalam mengestimasi besar daya yang dihasilkan secara rinci. Di sisi lain, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait survei geofisika berupa seismik, *magnetotellurik* maupun *logging* guna persebaran dan titik-titik reservoir panas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dosen Program Studi teknik Geologi Universitas Sriwijaya yang telah membimbing penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Loksha, M. G. and V. “*Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation*”. World Bank Technical Report, 2002/12, 1–164.
- [2] Aribowo, Sonny. “*Arsitektur Sesar Aktif Segmen Kumering Di Antara Danau Ranau Hingga Lembah Suoh, Sumatera Bagian Selatan*”. Program Pendidikan Magister Program Studi Teknik Geologi. Universitas Padjajaran: Bandung. 2016.
- [3] Saibi, H., Finsterle S., Bertani R., Nishijima J. “*Geothermal Energy*”. J. Kauffman, K.-M. Lee (eds.), Handbook of Sustainable Engineering. 2015; p. 1019-1042
- [4] Advokaat, E. L., M. Bongers, A. Rudyawan, M. K. BouDagher-Fadel, C. G. Langereis, D. J.J. Hinsbergen. (2018). *Early Cretaceous origin of the Woyla Arc (Sumatra, Indonesia) on the Australian plat.* Earth and Planetary Science Letters 498. 2018. p.248-361.
- [5] Barber, A. J., Crow, M. J., and Milsom, J. S. “*Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution*”, The Geological Society Publishing House, United Kingdom. 2005. p. 234-259.
- [6] Pulonggono, A Haryo and Kusumo, C G. *Pre-Tertiary and Tertialy fault systems as a framework of the south sumatera basin: a study of SAR-maps*: Jakarta: Proceedings Indonesian Petroleum system Association 21 annual convention. 1992.
- [7] Kusuma, D. S., S. W.Bakrun, E. S. Mustang, I. M. Foeh, B. Sulaeman. “*Prospek Panas Bumi Di Daerah Danau Ranau, Lampung Dan Sumatera Selatan*”. Kolokium Hasil Lapangan, 2005; 39-1 - 39-8.
- [8] McElfresh, Mike, E. Baesu, R. Balhorn, J. Belak, M. J. Allen, dan R. E. Rudd. “*Combining constitutive materials modeling with atomic force microscopy to understand the mechanical properties of living cells*”.

- PNAS 30. Pagi: 2002. 99 (suppl) 6493-6497. DOI: 10.1073/pnas.082520599.
- [9] Sieh, K. dan Natawidjaja, D. *Neotectonics of the Sumateran fault, Indonesia*. Journal of Geophysical Research, 105 (B12): 28295. 2000. doi:10.1029/2000JB900120.
- [10] Immanuel, Y. P., B. M. Saptia, M. H. Amin, F. Kalidasa. "Evaluation Geothermal Potential Using Fault and Fracture Density, Petrography, And Water Geochemistry Analysis; Case Study in Ranau Lake, Lampung- South Sumatera Province". Proceedings, 8th ITB International Geothermal Workshop 2019 Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, March 2019. 20–21.
- [11] Harding, T.P., Wilcox, R.E., Seely, D.R. *Basic Wrench Tectonics*, American Association of Petroleum Geologist Bulletin, v.57, 1973. p. 97- 116.
- [12] Zhang, N., Qin, Q., He.L., and Jiang, H. (2012). "Remote Sensing and GIS Based Geothermal Exploration in Southwest", Tengchong, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) IEEE International, China, pp 5364- 5367.