



Analisis Fault Fracture Density pada Potensi Panas Bumi Non-Vulkanik untuk Menentukan Recharge Area; Studi Kasus di Wilayah Lore Lindu, Sulawesi Tengah

Fault Fracture Density Analysis for Non-Volcanic Geothermal Potention to Determine Recharge Area; Case Study Lore Lindu Area; Central Sulawesi

Oki Kurniawan^{1*}, Raden Dikky Surya², Gatra Wargaliyasa³

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

²Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran, Bandung

³Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional

Jl. SWK (104) Lingkar Utara, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283

*Corresponding Author: oki.kurniawan@upnyk.ac.id

Article Info:

Received : 3-10-2022

Accepted : 20-10-2022

Published: 30-10-2022

Kata kunci: *Potensi panas bumi non-vulkanik, Fault fracture density, Lore Lindu.*

Keywords: *Non-volcanic geothermal, Fault fracture density, Lore Lindu.*

Abstrak: Sulawesi memiliki lebih dari 76 lokasi yang potensial untuk dijadikan sebagai lapangan panas bumi dengan nilai potensi mencapai 3.229 Mwe. Namun, belum satupun dari lapangan panas bumi non-vulkanik di Sulawesi yang telah dikembangkan menjadi pembangkit listrik. Kawasan Lore Lindu merupakan salah satu lapangan panas bumi non-vulkanik yang menarik untuk dijadikan objek penelitian. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas deliniasi kelurusan berdasarkan peta SRTM, data topografi, dan data struktur geologi berupa kekar dan cermin sesar. Dalam penelitian ini digunakan beberapa metode, antara lain Fault Fracture Density (FFD), analisis kemiringan lereng, dan kegiatan lapangan. Metode FFD telah sering digunakan pada studi awal dalam eksplorasi panas bumi. Metode ini memberi kita informasi mengenai zona dengan dengan densitas rekahan yang tinggi. Metode analisis kemiringan lereng bertujuan untuk menentukan catchment area. Metode kegiatan lapangan akan memberi informasi mengenai struktur geologi dan manifestasi panas bumi di permukaan. Dari hasil ketiga analisis tersebut dapat ditentukan tiga recharge area pada daerah penelitian, yaitu berada di area Kecamatan Rahmat, Kecamatan Kadidia di sekitar Sesar Kadidia, dan kawasan di sekitar mata air panas Koalarawa. Recharge area ini umumnya terdapat pada daerah perbukitan dengan nilai kemiringan lereng yang curam yang morfologinya dipengaruhi oleh struktur geologi.

Abstract: *Sulawesi has 76 potential locations for geothermal fields with a 3.229 Mwe potential value. However, these non-volcanic geothermal fields in Sulawesi have yet to be developed as a power plant. Lore Lindu area is one of the non-volcanic geothermal fields that are interesting to be a research object. The primary data in this research consist of lineament delineation from SRTM, topography data, and geological structure such as joint and slicken side. This research used several methods, including Fault Fracture Density (FFD), slope analysis, and fieldwork method. FFD method has been used for early study in geothermal exploration. This method gives us information about high-density fracture zone. The slope analysis method is purposed to determine the catchment area. The fieldwork method gives us information about the geological structure and geothermal manifestation. As a result of this analysis, three recharge zones can be determined in this research area, located in Rahmat District Area, Kadidia District Area around Kadidia Fault, and the area around Koalarawa hot spring. The recharge zone is generally found in hill areas with high slope values whose morphology was influenced by geological structure.*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

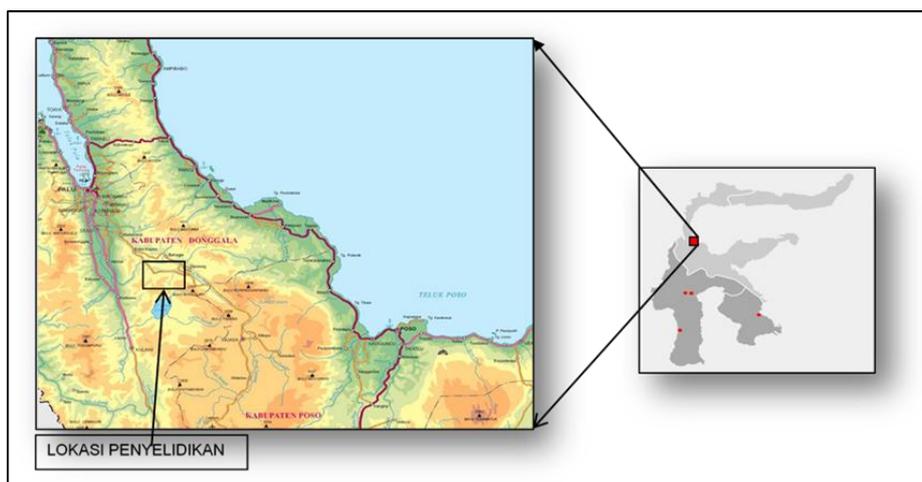
Panas bumi merupakan sumberdaya energi terbarukan dan ramah lingkungan yang memiliki potensi untuk menjadi alternatif sumberdaya energi di Indonesia terutama di Sulawesi dan di area Indonesia Timur. Sulawesi terletak di pertemuan dari 3 major plates Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Pertemuan dari 3 lempeng ini dapat menyebabkan terdapatnya aktivitas magmatisme dan tektonik yang kompleks di area Sulawesi. Aktivitas magmatisme ini dapat menjadi sumber panas bagi suatu sistem panas bumi.

Sulawesi memiliki 76 lokasi yang potensial untuk menjadi lapangan panas bumi dengan nilai potensi mencapai 3229 Mwe (Risdianto dkk., 2015). Sistem panas bumi yang terdapat di Sulawesi didominasi oleh sistem panas bumi non-vulkanik. Sistem panas bumi non-vulkanik ini memiliki karakteristik berbeda dengan sistem panas bumi vulkanik yang memiliki sumber panas yang berasal dari aktivitas gunung api. Sistem panas bumi non-vulkanik memiliki kaitan dengan aktivitas tektonik dan manifestasinya dikarakteristikan dengan ketersediaan sumber mata air panas. Kehadiran sumber mata air panas di area Lore Lindu menjadikan area ini menarik untuk dijadikan sebagai objek penelitian.

Metode fault fracture density (FFD) telah sering digunakan sebagai studi pendahuluan dari eksplorasi panas bumi. Metode ini memberikan kita informasi mengenai zona dengan densitas rekahan yang tinggi. Zona dengan densitas rekahan yang tinggi ini diasumsikan sebagai area yang potensial yang dapat meloloskan fluida hidrotermal dan dapat menjadi jalur dari siklus hidrologi pada sistem panas bumi. Analisis kemiringan lereng digunakan untuk menentukan catchment area. Kegiatan lapangan akan memberikan informasi mengenai informasi struktur geologi berdasarkan akuisisi data struktur geologi di daerah penelitian. Diharapkan dengan analisis dari ketiga metode tersebut dapat memberikan gambaran awal yang lebih baik mengenai sistem panas bumi di area Lore Lindu.

1.2. Lokasi Penelitian

Area yang menjadi fokus dari penelitian ini terletak di sekitar sumber mata air panas Koalarawa dan sumber mata air panas Kadidia. Secara administratif lokasi penelitian berada dalam wilayah Kecamatan Lore Lindu, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah dan terletak pada kordinat $1^{\circ}17' 26.4624''$ sampai kordinat $1^{\circ}10' 56.5932''$ S dan kordinat $120^{\circ}2' 37.6116''$ sampai kordinat $120^{\circ} 8'35.3868''$ E atau 9857169 – 9869122 mU dan 170987 – 182002 mT pada sistem UTM zona 51, belahan bumi bagian selatan. Luas area penelitian diestimasikan kurang lebih seluas 132 km².



Gambar 1 Lokasi Penelitian

1.3. Geologi Regional Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Poso (Simandjuntak, 1997) dan Peta Geologi Regional Lembar Pasangkayu, Sulawesi (Sukido, 1993) stratigrafi pada daerah penelitian tersusun atas Formasi

Gunungapi Tineba, Formasi Granit Kambuno, Formasi Napu, Formasi Puna, dan Endapan Danau. Berdasarkan sejarah geologinya, daerah penelitian terletak pada bagian timur dari Sulawesi Tengah yang tersusun atas lava dan breksi andesitik produk vulkanik Tersier dari Gunung Towingkoloe serta produk sedimen Tersier yang tersusun atas batupasir dan konglomerat. Proses obduksi antara bagian barat dari Sulawesi dan bagian timur dari Sulawesi Tengah menghasilkan produk granit plutonik pada akhir Tersier dan selanjutnya terbentuk endapan molase yang berupa kolovium.

2. Metode

Terdapat 3 metode yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah analisis fault fracture density (FFD), analisis kemiringan lereng, dan kegiatan lapangan yang akan dijabarkan sebagai berikut

2.1 Analisis Fault Fracture Density

Analisis ini dilakukan dengan cara menarik kelurusan dari rekahan-rekahan seperti punggung maupun lembahan pada citra digital elevation map (DEM) yang pada penelitian ini menggunakan data SRTM. Kelurusan kelurusan yang telah ditarik akan dianggap sebagai rekahan yang kemudian diukur panjang dan jumlah rekahan dalam satuan kilometer untuk kemudian dibagi dengan luas dalam kilometer persegi. Peta FFD dihasilkan dari perhitungan jumlah dan panjang dari kelurusan dari setiap zona area. Zona dengan densitas rekahan yang tinggi diinterpretasikan sebagai jalur masuk fluida menuju bawah permukaan (Soengkono, 1999).

2.2 Analisis Kemiringan Lereng

Analisis kemiringan lereng dibuat untuk mendukung data analisis fault fracture density sehingga dapat ditentukan daerah dengan kemiringan lereng yang landai dan daerah dengan kemiringan lereng yang terjal, dengan pengertian bahwa daerah dengan kemiringan lereng yang terjal membentuk topografi sebagai batas daerah tangkapan air atau catchment area.

2.3 Kegiatan Lapangan

Kegiatan lapangan dilakukan sebagai data pendukung serta validasi dari interpretasi penentuan zona recharge berdasarkan analisis FFD dan analisis kemiringan lereng. Kegiatan lapangan ini akan menghasilkan data berupa sebaran struktur geologi pada daerah penelitian berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

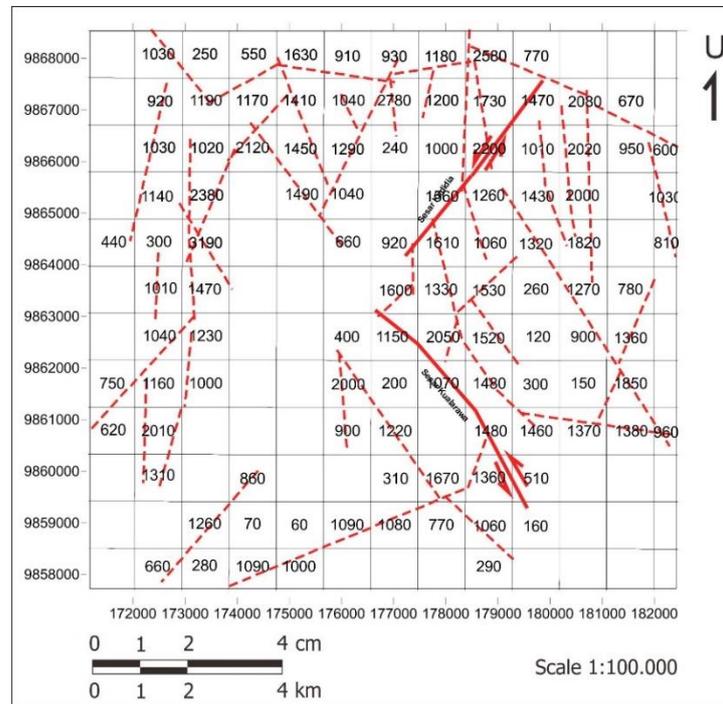
3.1 Fault Fracture Density

Fluida merupakan salah satu bagian penting dalam pembentukan suatu sistem panas bumi. Fluida tersebut dapat berasal dari fluida permukaan maupun fluida yang terperangkap dalam batuan. Fluida berfungsi sebagai media dalam perpindahan energi panas secara konvektif. Secara singkat sirkulasi fluida ini dapat berasal dari proses recharge atau imbuhan di areal tangkapan (catchment area) yang kemudian mengalami penetrasi secara vertikal kebawah permukaan memasuki sistem panas bumi hingga pada akhirnya mengalami proses discharge di permukaan.

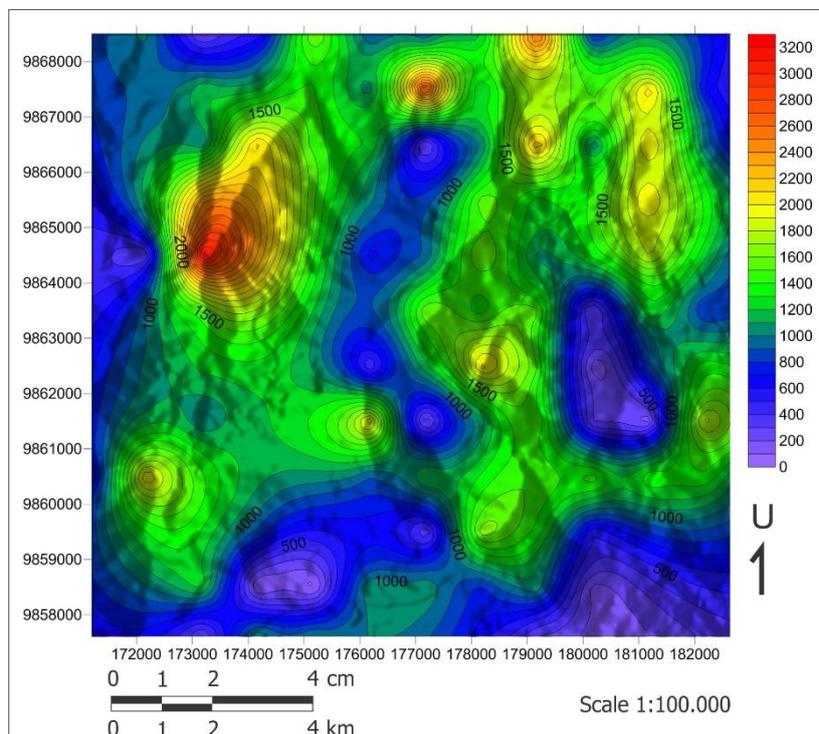
Rekahan merupakan struktur yang penting untuk diperhatikan karena struktur ini erat hubungannya dengan jalur masuk dan keluarnya fluida hidrothermal dan erat pula hubungannya dengan siklus hidrologi. Rekahan dapat menyebabkan batuan beku yang memiliki permeabilitas primer yang kecil menjadi memiliki nilai permeabilitas sekunder yang besar (Santoso, 2004). Sebuah area dengan densitas rekahan yang tinggi dapat mengindikasikan tingginya tingkat masuknya fluida pada area tersebut (Soengkono, 1999).

Analisis fault fracture density dapat dilakukan dengan melakukan penarikan kelurusan pada lembahan dan sungai pada digital elevation map (DEM). Berdasarkan hasil analisis fault fracture density terdapat 9 area yang memiliki densitas rekahan tinggi pada daerah penelitian. Area ini diinterpretasikan sebagai area

permeabel yang memungkinkan lolosnya fluida dari permukaan untuk masuk kedalam suatu sistem panasbumi dan juga sebagai area permeabel yang memungkinkan hadirnya manifestasi panas bumi seperti mata air panas di permukaan.



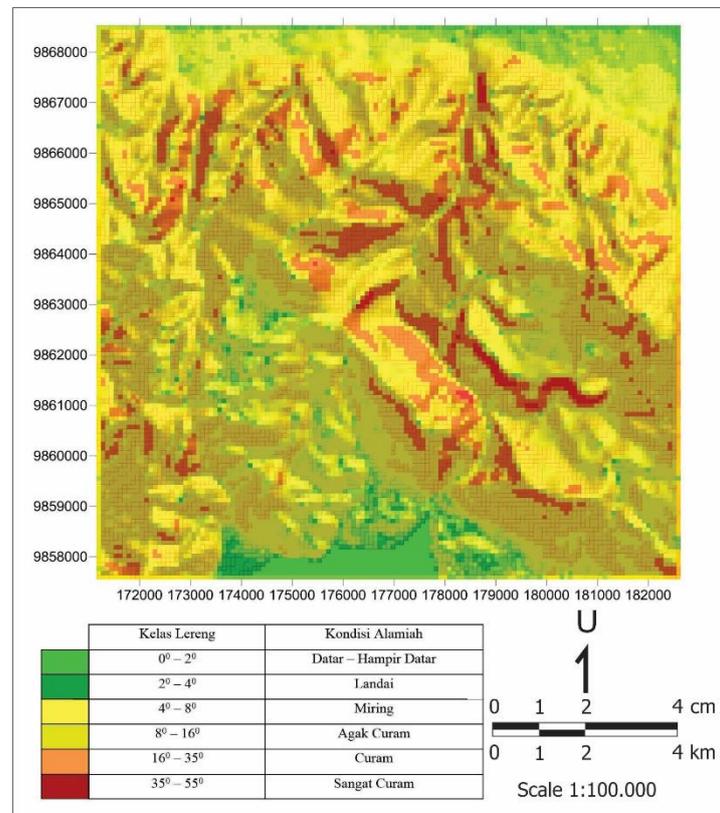
Gambar 2 Hasil Kalkulasi dari Panjang Rekahan (meter)



Gambar 3 Peta Fault Fracture Density pada Daerah Penelitian

3.2 Analisis Kemiringan Lereng

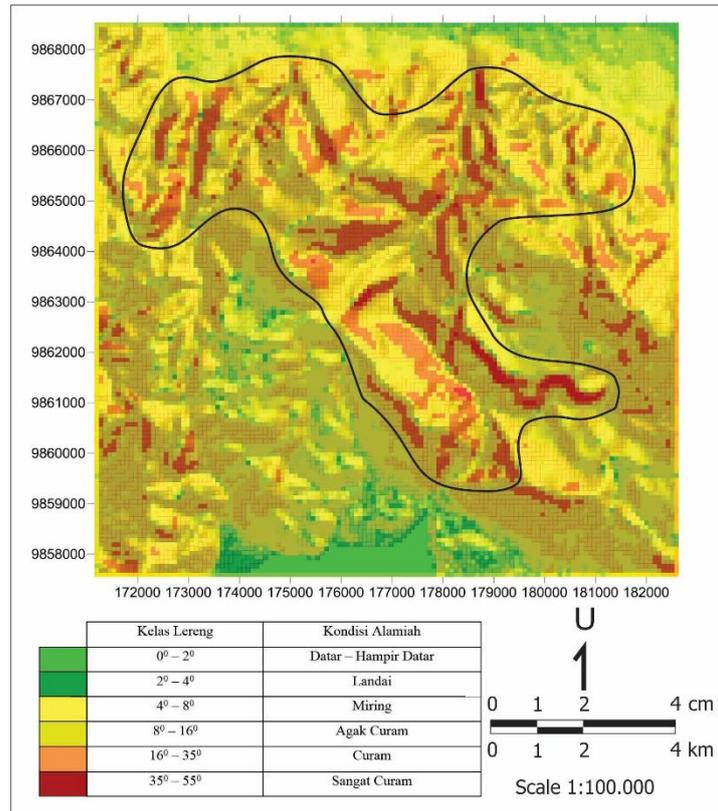
Analisis kemiringan lereng diperlukan untuk menentukan daerah dengan derajat kemiringan lereng yang tinggi dan daerah dengan derajat kemiringan lereng yang lebih rendah. Pembuatan peta kemiringan lereng pada penelitian ini dilakukan berdasarkan klasifikasi derajat kemiringan lereng oleh Van Zuidam (1985).



Gambar 4 Peta Kemiringan Lereng Daerah Penelitian Berdasarkan Klasifikasi Kemiringan Lereng Van Zuidam (1985)

Analisis kemiringan lereng diperlukan untuk menentukan daerah tangkapan air atau catchment area, yang merupakan unit alam berupa kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis berupa punggung punggung bukit dengan kemiringan lereng tinggi yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke sungai utama dan kemudian menyalurkannya ke laut (Asdak, 1995). Daerah dengan kemiringan lereng yang tinggi akan membentuk topografi yang mengalirkan air (*run off*) ke daerah lembah yang lebih rendah sehingga membentuk area tangkapan (*catchment area*).

Berdasarkan analisis kemiringan lereng, terdapat area yang memungkinkan untuk menjadi daerah tangkapan air (*catchment area*). Area ini merupakan area lembahan yang berada di daerah kemiringan lereng yang curam dan daerah dengan jumlah lembahan yang tinggi sehingga air mengalir ke lembahan dengan debit yang besar dan terkonsentrasi sehingga menjadi dasar penarikan batas zona *catchment area*.



Gambar 5 Penarikan Batas *Catchment Area*

3.3 Kegiatan Lapangan

Berdasarkan hasil kegiatan lapangan didapatkan data data berupa data struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian dan data sebaran lokasi manifestasi panas bumi di permukaan berupa sumber mata air panas.

3.3.1 Analisis Struktur Geologi

Berdasarkan hasil kegiatan di lapangan ditemukan 2 indikasi sesar yang terdapat pada daerah penelitian yaitu:

3.3.1.1 Sesar Mendatar Sinistral Koala Rawa

Sesar ini terletak pada bagian tenggara dari daerah penelitian. Sesar ini dicirikan oleh penampakan garis kelurusan yang panjang tidak terputus pada citra DEM di daerah penelitian. Sumber mata air panas Koala Rawa juga merembes melalui Sesar Koala Rawa ini. Sesar ini membentuk morfologi cenderung memanjang ke arah baratlaut – tenggara sesuai dengan arah jurus dari sesar Koala Rawa. Sesar ini merupakan sesar mendatar sinistral dengan arah patahan relatif baratlaut – tenggara dengan arah tegasan utama utara - selatan.



Gambar 6 Sumber Mata Air Panas Koala Rawa Keluar Melalui Jalur Sesar Koala Rawa

3.3.1.2 Sesar Mendatar Sinistral Kadidia

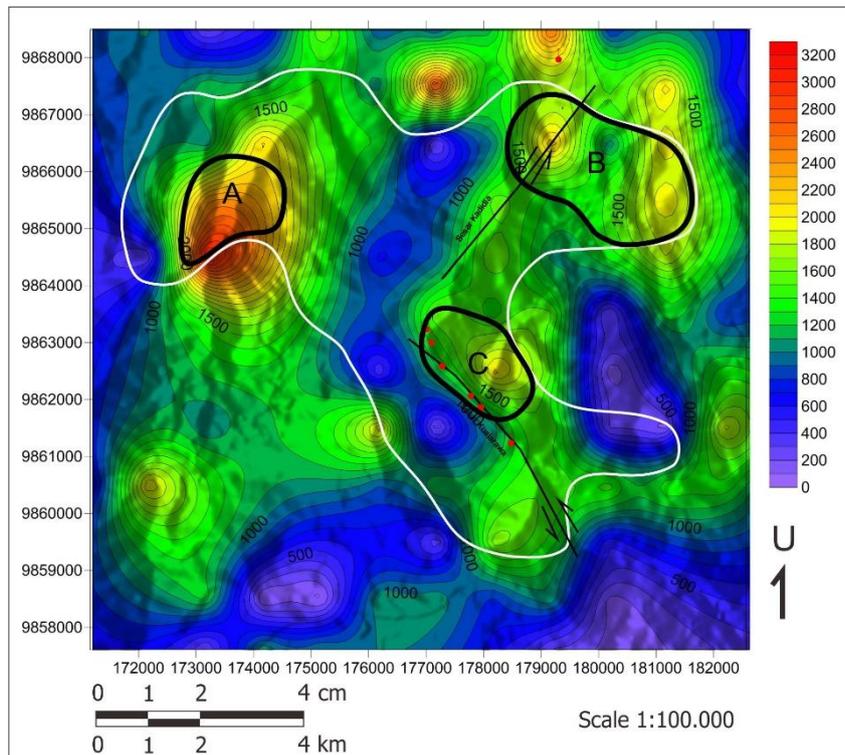
Sesar Mendatar Kadidia berada di timur laut daerah penelitian. Sesar ini berarah timur laut – barat daya. Ditemukannya cermin sesar pada satuan Granit menjadi dasar penarikan dari sesar mendatar ini. Cermin sesar yang ditemukan memiliki nilai strike dip bidang sesar $N210^{\circ}E/80^{\circ}$ dan pitch $15^{\circ}S$. Berdasarkan data tersebut disimpulkan bahwa sesar ini merupakan sesar mendatar sinistral dengan arah timurlaut – barat daya.



Gambar 7 Cermin Sesar yang Ditemukan Pada Area Sesar Mendatar Sinistral Kadidia

3.4 Interpretasi Zona Recharge Pada Daerah Penelitian

Interpretasi zona recharge dilakukan dengan cara menggabungkan hasil analisis dari analisis fault fracture density yang menghasilkan peta FFD, analisis kemiringan lereng yang menghasilkan peta kemiringan lereng serta zona yang memungkinkan untuk menjadi catchment area, dan kegiatan lapangan yang menghasilkan data struktur geologi serta manifestasi sumber mata air panas yang terdapat pada daerah penelitian. Berdasarkan hasil penggabungan tersebut diinterpretasikan terdapat 3 zona recharge pada daerah penelitian yaitu zona recharge A barat laut yang terletak pada Kecamatan Rahmat, zona recharge B timur laut yang terletak pada Kecamatan Kadidia dan terletak disekitar Sesar Kadidia, serta zona recharge C selatan yang terletak di sekitar sumber mata air panas Koala Rawa.



Gambar 8 Sebaran Zona *Recharge* Berdasarkan Hasil Kompilasi Peta FFD, *Catchment Area*, Struktur Geologi serta Manifestasi Sumber Mata Air Panas

3.4.1 Zona Recharge A Barat Laut

Zona ini diinterpretasikan sebagai zona recharge karena memiliki 1 titik dengan densitas rekahan yang tinggi yang mencapai 3,2 km/km², didukung dengan data kemiringan lereng yang memungkinkan untuk menjadi *catchment area*. Zona ini diperkirakan memiliki permeabilitas yang paling tinggi di daerah penelitian dan menjadi jalur utama masuknya air ke dalam sistem panas bumi di daerah penelitian.

3.4.2 Zona Recharge B Timur Laut

Zona ini diinterpretasikan sebagai zona recharge karena memiliki 2 titik dengan densitas rekahan tinggi yang mencapai 2,2 km/km² dan kemiringan lereng yang memungkinkan untuk menjadi *catchment area*. Zona ini juga dilalui oleh Sesar Kadidia yang dapat meningkatkan permeabilitas batuan di area tersebut akibat sesar. Diperkirakan zona ini memiliki permeabilitas yang cukup baik untuk menjadi jalur masuknya air ke dalam sistem panas bumi di daerah penelitian.

3.4.3 Zona Recharge C Selatan

Zona ini diinterpretasikan sebagai zona recharge karena memiliki 1 titik dengan densitas rekahan yang tinggi yang mencapai 2 km/km² dan juga kemiringan lereng yang memungkinkan untuk menjadi *catchment area*. Zona ini juga dilalui oleh Sesar Koala Rawa yang dapat meningkatkan permeabilitas sekunder batuan di area tersebut akibat sesar. Diperkirakan zona ini memiliki permeabilitas yang baik untuk menjadi jalur masuknya air ke dalam sistem panas bumi di daerah penelitian. Zona ini juga merupakan zona lemah sehingga menjadi titik munculnya beberapa manifestasi air panas di daerah penelitian.

4. Kesimpulan

Daerah penelitian memiliki 9 zona dengan densitas rekahan yang tinggi berdasarkan metode *fault fracture density*. Zona dengan densitas rekahan tinggi ini diinterpretasikan sebagai area permeabel yang memungkinkan fluida dari permukaan untuk masuk ke bawah permukaan dan masuk ke dalam sistem panas bumi. Hasil dari analisis *fault fracture density* ini kemudian digabungkan dengan hasil analisis kemiringan

lereng yang menghasilkan batas dari potensi catchment area dan kegiatan lapangan yang menghasilkan sebaran data struktur geologi serta manifestasi permukaan berupa sumber mata air panas.

Diinterpretasikan terdapat 3 zona recharge berdasarkan integrasi dari ketiga metode analisis yang telah dilakukan. Zona recharge ini memiliki nilai densitas rekahan yang tinggi dan termasuk kedalam batas catchment area. Zona recharge ini diantaranya adalah yaitu zona recharge A barat laut yang terletak pada Kecamatan Rahmat, zona recharge B timur laut yang terletak pada Kecamatan Kadidia dan terletak disekitar Sesar Kadidia, serta zona recharge C selatan yang terletak di sekitar sumber mata air panas Koala Rawa.

Interpretasi ini merupakan interpretasi awal dari sistem panas bumi di daerah Lore Lindu. Penelitian lanjutan dengan metode pengeboran maupun survey geofisika dibutuhkan untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih komprehensif. Diharapkan dengan adanya penelitian lanjutan akan memberikan gambaran lebih detail mengenai kondisi bawah permukaan dari daerah Lore Lindu yang dapat memberikan gambaran lebih detail pula mengenai sistem panas bumi pada daerah Lore Lindu.

Daftar Pustaka

- Asdak, C. (1995), "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Tangkapan Air". Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Risdianto, D., Permana L. A., Wibowo A. E. A., Sugianto, A., dan Hermawan, D. (2015), "Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik Di Sulawesi". Pusat Sumber Daya Geologi
- Santoso, D. (2004), "Catatan Kuliah Eksplorasi Energi Geothermal". Penerbit ITB, Bandung.
- Simandjuntak, T.O., Surono., dan Supandjono, J.B. (1997): Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Soengkono, S. (1999), "Analysis of Digital Topographic Data for Exploration and Assesment of Geothermal System". Geothermal Institute, University of Auckland.
- Sukido., Sukarna, D., dan Sutisna, K. (1993): Peta Geologi Lembar Pasangkayu, Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Van Zuidam, R.A. (1985), "Guide to Geomorphologic Aerial Photographys Interpretation and Mapping". Enshede The Netherlands.
- Wibowo, A.E.A., and Risdianto, D. (2015), "Survei Terpadu Geologi Daerah Panas Bumi Kadidia Selatan, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah" Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumberdaya Geologi Tahun Anggaran 2015. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.