STUDI DENSITAS *LINEAMENT* DAN POLA ALIRAN PERMUKAAN DAERAH MANIFESTASI GEOTERMAL DI SEKITAR DANAU TONDANO

Cyrke A.N. Bujung
Program Studi Fisika FMIPA UNIMA
cyrke@unima.ac.id

ABSTRAK

Sulawesi Utara merupakan daerah dengan struktur geologi yang kompleks dikarenakan Sulawesi Utara terletak pada zona tumbukan tiga buah lempeng sekaligus. Oleh sebab itu, maka Sulawesi Utara memiliki potensi panas bumi yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Manifestasi permukaan berasosiasi dengan struktur geologi permukaan yang dapat diidentifikasi berdasarkan analisis *lineament* pada citra penginderaan jauh.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi permukaan daerah panas bumi berdasarkan densitas kelurusan, pola aliran dan manifestasi permukaan. Struktur permukaan dianalisis melalui kerapatan *lineament* di permukaan dengan metode FFD. *Lineament* ini diasumsikan berasosiasi dengan *fracture* atau *fault* yang di daerah panas bumi umumnya tertutup oleh manifestasi permukaan sehingga sulit teridentifikasi. *Fault* dan *fracture* ini diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi jalur pergerakan fluida termal sehingga dapat menjadi petunjuk bagi lokasi daerah permeabel atau reservoir.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas struktur geologi permukaan yang tinggi berasosiasi dengan keterdapatan manifestasi panas bumi di permukaan daerah kaldera Tondano dan sekitarnya. Daerah bermanifestasi adalah daerah dengan pola aliran padat dan merupakan batuan gunung api muda.

Kata kunci: Densitas *Lineament*, pola aliran, manifestas Geotermal

ABSTRACT

North Sulawesi is an area with a complex geological structure because North Sulawesi is located in a collision zone of three plates at once. Therefore, North Sulawesi has geothermal potential which can be used as a power plant. Surface manifestations associated with surface geological structures can be identified based on lineament analysis on remote sensing images.

This study aims to identify the geological structure of the surface of the geothermal area based on its lineament density, flow patterns and surface manifestations. The surface structure was analyzed by lineament density at the surface by the FFD method. This lineament is assumed to be associated with a fracture or fault which in the geothermal area is generally covered by surface manifestations so that it is difficult to identify. These faults and fractures are assumed to be weak areas where the thermal fluid moves so that they can be a clue to the location of the permeable area or reservoir.

The results showed that the high density of surface geological structures is associated with the presence of geothermal manifestations on the surface of the Tondano caldera and its surroundings. The manifested area is an area with a dense flow pattern and is a young volcanic rock.

Key words: Lineament density, flow pattern, Geothermal manifestation

1. Pendahuluan

Terpenuhinya kebutuhan listrik terutama di daerah Indonesia Timur akan dapat mendorong percepatan pertumbuhan perekonomian khususnya daerah. Salah satu upaya pemenuhan kebutuhan energi listrik tersebut, adalah melakukan penelitian untuk menentukan lokasi-lokasi yang memiliki potensi panas bumi, dan merencanakan pengembangan energi panas bumi berupa rekomendasi eksplorasi pada lokasi potensi. Upaya pengembangan energi panas bumi tersebut perlu didukung dengan menerapkankan antara lain metoda geologi, dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh sebagai alat untuk identifikasi awal, mengingat keterdapatan dan penyebaran sumberdaya panas bumi berada di sepanjang jalur vulkanik yang sangat luas di daerah Sulawesi Utara.

Keterdapatan reservoir panas bumi di bawah permukaan, ditunjukkan oleh kemunculan manifestasi panas bumi di permukaan, seperti mata air panas, kubangan lumpur panas, dan lain-lain. Daerah puncak reservoir dapat diketahui berdasarkan litologi, kemunculan mineral epidot, dan profil temperatur (Bujung, C.A.N., dkk., 2011). Adanya manifestasi panas bumi di permukaan terjadi karena perambatan panas dari bawah permukaan atau akibat rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan. *Fault* dan *fracture* di permukaan diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi jalur pergerakan fluida termal sehingga menjadi petunjuk lokasi daerah permeabel atau reservoir. Struktur permukaan dapat dianalisis melalui kerapatan *lineament* di permukaan dengan metode FFD. *Lineament* ini diasumsikan berasosiasi dengan *fracture* atau *fault* yang di daerah panas bumi umumnya tertutup oleh manifestasi permukaan sehingga sulit teridentifikasi. *Fault* dan *fracture* ini diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi jalur pergerakan fluida termal sehingga dapat menjadi petunjuk bagi lokasi daerah permeabel atau reservoir. Permasalahan yang ingin diteliti dalam penelitian ini adalah sejauhmana hubungan densitas *lineament* dan pola aliran dengan manifestasi geothermal di sekitar danau Tondano berdasarkan analisis *fault and fracture density*.

2. Landasan Teori dan Metode

2.1. Struktur Geologi

Struktur geologi adalah struktur perubahan lapisan batuan sedimen akibat kerja kekuatan tektonik, sehingga tidak lagi memenuhi hukum superposisi. Disamping itu struktur geologi juga merupakan struktur kerak bumi produk deformasi tektonik. Cabang geologi yang menjelaskan struktur geologi secara detail disebut geologi struktur, dimana geologi struktur merupakan cabang ilmu geologi yang mempelajari mengenai bentuk arsitektur kulit bumi. Kekuatan Tektonik dan orogenik yang membentuk struktur geologi itu berupa tegangan.

Berdasarkan keseragaman kekuatannya, tegangan dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. *Uniform stress (Confining Stress)* yaitu tegangan yang menekan atau menarik dengan kekuatan yang sama dari atau ke segala arah
b. *Differential Stress* yaitu tegangan yang menekan atau menarik dari atau ke satu arah saja dan bisa juga dari atau ke segala arah,tetapi salah satu arah kekuatannya ada yang lebih dominan.

2.1.1. Struktur Kekar (Joint)

Hampir tidak ada suatu singkapan di muka bumi ini yang tidak memperlihatkan gejala rekahan.Rekahan pada batuan bukan merupakan gejala yang kebetulan.Umumnya hal ini terjadi akibat hasil kekandasan akibat tegangan (stress).Kekar adalah struktur rekahan dalam blok batuan dimana tidak ada atau sedikit sekali mengalami pergeseran (hanya retak saja),umumnya terisi oleh sedimen setelah beberapa lama terjadinya rekahan tersebut.Rekahan atau struktur kekar dapat

terjadi pada batuan beku dan batuan sedimen.

Pada batuan beku, kekar terjadi karena pembekuan magma dengan sangat cepat (secara mendadak).

Pada batuan sedimen, kekar terjadi karena:

a. Intrusi/ekstrusi
b. Pengaruh iklim/musim

Dalam batuan sedimen umunya kekar juga dapat terbentuk mulai dari saat pengendapan atau segera terbentuk setelah pengendapannnya.dimana sedimen tersebut masih sedang mengeras.

Struktur kekar dapat berguna dalam memecahkan masalah sebagai berikut :

- Geologi Teknik
- Geologi Minyak, terutama dengan masalah cadangan dan produksi minyak
- Geologi Pertambangan,yaitu dalam hal sistem penambangan maupun pengarahan terhadap bentuk-bentuk mineralisasi.

2.1.2. Struktur Sesar (Fault)

Sesar adalah suatu rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan.Hal ini terjadi apabila blok batuan yang dipisahkan oleh rekahan telah bergeser sedemikian rupa hingga lapisan batuan sedimen pada blok yang satu terputus atau terpisah dan tidak bersambungan lagi dengan lapisan sedimen pada blok yang lainnya. Ukuran panjang maupun kedalaman sesar dapat berkisar antara beberapa sentimeter saja sampai mencapai ratusan kilometer.

Istilah-istilah penting yang berhubungan dengan gejala sesar antara lain :

1) Bidang Sesar

Merupakan bidang rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran.

2) Bagian-bagian yang tersesarkan (tergeser)

Bagian ini terdiri dari Hanging Wall dan Foot Wall. Hanging Wall (atap sesar) adalah bongkahan patahan yang berada dibagian atas bidang sesar. Sedangkan foot Wall (alas sesar) adalah bongkaha patahan yang berada di bagian bawah bidang sesar. *Throw* adalah jarak yang memisahkan lapisan atau vein yang terpatahkan yang diukur pada sesar dalam bidang tegak lurus padanya. *Heave* adalah jarak horizontal yang diukur normal (tegak lurus) pada sesar yang memisahkan bagian-bagian dari lapisan yang terpatahkan.

Berdasarkan pada sifat geraknya,sesar dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

a) Sesar Normal (*Gravity Fault*), yaitu gerak relatif *Hanging Wall* turun terhadap *Foot Wall*, disebut juga sebagai Sesar Turun.

b)Sesar Naik (*Reverse Fault*), yaitu gerak relatif *Hanging Wall* naik terhadap *Foot Wall*. Posisi *Hanging Wall* lebih tinggi daripada *Foot Wall*.

c) Sesar Mendatar (*Horizontal Fault*), yaitu gerak relative mendatar pada bagian-bagian yang tersesarkan. *Hanging Wall* dan *Foot Wall* bergeser horizontal yang diakibatkan oleh kerja *shear stress*.

2.1.3. Lipatan (fold)

Lipatan adalah perubahan bentuk dan volume pada batuan yang ditunjukkan oleh lengkungan atau melipatnya batuan tersebut akibat pengaruh suatu tegangan (gaya) yang bekerja pada batuan tersebut yang umunya refleksi perlengkungannya ditunjukkan oleh perlapisan pada batuan sedimen serta bisa juga pada foliasi batuan metamorf .

Secara umum,jenis-jenis lipatanyang terpenting adalah sebagai berikut :

a) Antiklin, yaitu lipatan yang kedua sayapnya mempunyai arah kemiringan yang saling berlawanan.
b) Sinklin, yaitu lipatan yang kedua sayapnya mempunyai arah kemiringan yang menuju ke satu arah yang sama.

Struktur permukaan bumi selalu mengalami perubahan yang disebut deformasi.Deformasi kerak bumi dapat disebabkan oleh strees dan strain, temperature, waktu dan strain rate, dan

komposisi jenis kandungan mineral batuan dan kandungan air batuan. Deformasi akibat gaya tektonik dikelompokan dalam struktur primer dan skunder.

2.2. Fault and fracture Density (FFD)

Metode *Fault Fracture Density* (FFD) merupakan metode sederhana yang digunakan untuk mengidentifikasi daerah panas bumi berdasarkan densitas kelurusan.Kelurusan disini diasumsikan sebagai bidang lemah yang berasosiasi dengan fault atau fracture yang menjadi jalur pergerakan fluida yang berasal dari reservoir yang muncul di permukaan sebagai manifestasi seperti mata air panas atau fumarol.Berdasarkan hasil penelitian menunjukan metode Fault Fracture Density (FFD) berasosiasi dengan kemunculan manifestasi panas bumi dengan nilai FFD tinggi.

2.3. Metode Pelaksanaan

Manifestasi panas bumi erat kaitannya dengan struktur berupa rekahan-rekahan batuan, sesar atau bidang kontak antar jenis batuan. Struktur adalah bidang lemah yang mengontrol kelurusan yang terlihat dari atas permukaan. Mempelajari pola sesar dan zona rekahan dapat memandu indikasi daerah produktif suatu reservoir panasbumi. Bidang sesar yang permeabel menjadi target dalam ekplorasi panasbumi. Fluida panas yang mengalir terutama melalui zona rekahan dan sesar berinteraksi dengan batuan sekitar dan memperlihatkan pola kelurusan.

Pengolahan data diawali dengan penentuan lokasi penelitian yaitu daerah kaldera Danau Tondano. Informasi tentang daerah penelitian dapat diperoleh dari pengolahan citra satelit SRTM dan peta geologi daerah Sulawesi Utara. Pengolahan citra satelit SRTM akan menghasilkan pola aliran permukaan serta densitas kelurusan daerah penelitian. Sedangkan peta geologi Sulawesi Utara memberikan informasi tentang sebaran batuan serta manifestasi permukaan daerah yang akan diteliti. Sehingga setelah pengolahan citra satelit dan peta geologi, maka akan diperoleh sebuah gabungan informasi peta yang memberikan informasi perbandingan tentang daerah yang diteliti dengan perbandingan daerah seperti apa yang kira-kira memiliki manifestasi permukaan dan yang tidak memiliki manifestasi dilihat dari densitas kelurusan, pola aliran dan jenis batuannya. Pengolahan data mengikuti langkah-langkah berikut:

a) Densitas Keluruan
   1. DEM dari SRTM diberi penyinaran
   2. Peta kelurusan diberi grid 1 km x 1 km
   3. kelurusan yang tampak diberigaris
   4. Peta kelurusan dihitung berdasarkan panjang total kelurusan per 1 km^2
   5. Pada masing-masing titik tengah grid diberi nilai sesuai panjang total kelurusan dalam grid tersebut
   6. Dibuat kontur dari seluruh nilai pada grid
b) Pola Aliran Permukaan
   1. Menggolongkan daerah yang memiliki aliran air permukaann yang rapat dan yang jarang
c) Peta Geologi
   1. Mengidentifikasi sebaran jenis batuan daerah penelitian
   2. Mengidentifikasi lokasi dan jenis manifestasi daerah penelitian

d) Menggabungkan informasi ketiga peta untuk menghasilkan peta tentang hubungan densitas kelurusan, pola aliran dan jenis batuan dengan adanya manifestasi.

3. Hasil Penelitian

Bagian Timur hingga Tenggara danau Tondano memiliki pola kelurusan sangat padat yang disebabkan karena daerah ini merupakan daerah dengan deretan bukit, sehingga menampilkan zona-zona rekahan kecil yang padat.

Pada bagian Barat hingga Baratlaut danau Tondano memiliki pola kelurusan yang cukup padat, namun tidak sepadat bagian timur hingga Tenggara Danau Tondano. Hal ini terjadi karena daerah ini merupakan daerah dataran tinggi namun

bukan daerah dengan deretan perbukitan atau pegunungan yang menyebabkan timbulnya kenampakan yang sangat padat, melainkan daerah ini merupakan daerah pegunungan, yaitu Gunung Tampusu.

Bagian selatan hingga barat daya Danau Tondano memiliki pola kelurusan yang sangat sedikit atau jarang. Ini disebabkan karena daerah ini bukan merupakan daerah perbukitan maupun pegunungan melainkan daerah yang agak rendah dibanding sekitarnya.

4. Kesimpulan

1) Densitas struktur geologi permukaan yang tinggi berasosiasi dengan keterdapatan manifestasi panas bumi di daerah kaldera Tondano dan sekitarnya
2) Pola aliran permukaan menunjukkan zona recharge daerah kaldera Tondano dan sekitarnya
3) Daerah bermanifestasi adalah daerah dengan densitas kelurusan dan pola aliran padat dan batuan gunung api muda.

Daftar Pustaka

Bujung, C.A.N., dkk., 2011. *Identifikasi prospek panas bumi berdasarkan Fault and Fracture Density (FFD): Studi kasus Gunung Patuha Jawa Barat*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi: Volume 2, nomor 1, hal. 67-75. Bandung.

Effendi, A.C., Bawono, S.S.1997. *Peta geologi lembar Manado, Sulawesi Utara*. Bandung: Penerbit Pusat Penelitiandan Pengembangan Geologi

Giancoli. D., 2001. *Fisika jilid 1*. Edisi ke 5. Jakarta: Penerbit Erlangga.

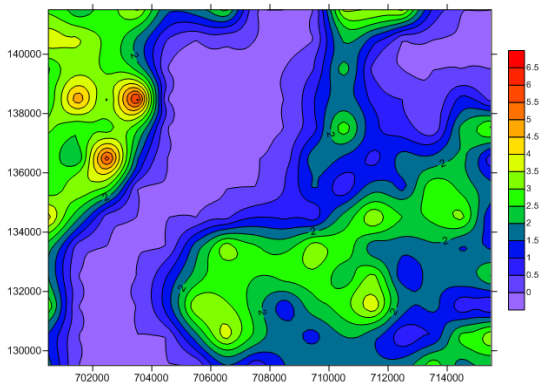
Memed, M. W. 2013. *Pola Aliran Air Tanah Di Daerah Lapangan Panas bumi Komplek Gunungapi Patuha Bandung Selatan*.

Purbohadiwidjoyo, M. M.,1967. *Hidrologi Teknik*. Bandung: Penerbit ITB.

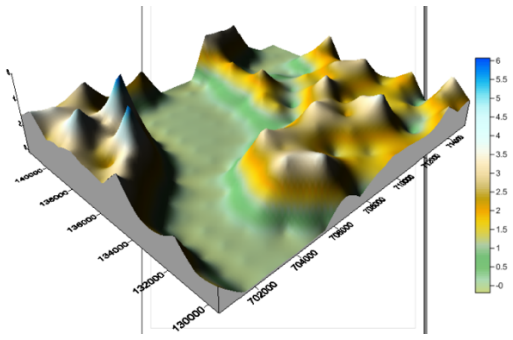
Purbo, A. 1995. *Memahami lingkungan atmosfer kita*. Bandung: Penerbit ITB.

Suryantini. 2010. *Application of Fault and Fracture Density (FFD) Method for Geothermal Exploration in Non-Volcanik Geothermal System; a Case Study in Sulawesi-Indonesia*. Volume 5, nomor 1, hal. 27-37. Bandung: Penerbit Geoaplika.

Todd, D. K., 1980. *Groundwater Hydrology*. New York : John Wiley & Sons.



Peta kontur densitas kelurusan



Peta elevasi densitas kelurusan