

## IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK PANASBUMI BERDASARKAN ANALISIS KELURUSAN DAN *FAULT FRACTURE DENSITY* (FFD) LAPANGAN PANASBUMI GUNUNG UNGARAN, KABUPATEN SEMARANG, PROVINSI JAWA TENGAH

Brany Kurnianto\*, Dwi Fitri Y.\*\*, Dyah Rini R.\*\*

\*Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

\*\* Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

\*E-mail: kurnianto.brany@gmail.com

### ABSTRAK

Rekahan adalah media terbaik bagi fluida panas bumi untuk muncul ke permukaan sebagai manifestasi panasbumi. Sistem rekahan juga media terbaik untuk air meteorik dapat masuk ke dalam suatu sistem panasbumi sebagai pendukung potensi panasbumi dan memenuhi siklus penting dalam sistem panas bumi yang berkelanjutan (*sustainable*). Sistem rekahan ini dapat diidentifikasi dengan kelurusan citra Landsat. Kelurusan–kelurusan yang diperoleh dari hasil analisis citra Landsat sangat membantu dalam analisis struktur geologi sehingga perlu diketahui bagian mana dalam konsesi daerah telitian yang memiliki struktur geologi paling intensif dan pola umum dari struktur utama yang berkaitan dengan pembentukan sistem panasbumi Gunung Ungaran. Peta kerapatan kelurusan atau *Fault Fracture Density* (FFD) akan sangat membantu dalam analisis struktur geologi kepanas-bumian sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi zona-zona prospek panasbumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur permukaan daerah panas bumi berdasarkan densitas kelurusan, anomali magnetik, dan manifestasi panas bumi di permukaan. Struktur permukaan dianalisis melalui kerapatan *lineament* di permukaan dengan metode FFD. *Lineament* ini diasumsikan berasosiasi dengan *fracture* atau *fault* di daerah panas bumi yang 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. Berdasarkan metoda FFD yang dikompilasikan dengan data anomali geokimia Hg dan CO<sub>2</sub> diketahui bahwa daerah prospek panas bumi berada di daerah Gedongsongo dan Nglimit.

**Kata Kunci:** struktur, *lineament*, FFD, GIS, geothermal.

### PENDAHULUAN

Keterdapatannya *reservoir* panas bumi di bawah permukaan tercermin di permukaan melalui kemunculan manifestasi panas bumi seperti mata air panas, kolam lumpur panas, dan lain-lain. Daerah puncak *reservoir* dapat diketahui berdasarkan litologi, kemunculan mineral epidot, dan profil temperatur (Bujung, dkk., 2010). 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 (Saptadji, 2003; Santoso, 2007). *Fault* dan *fracture* di permukaan diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi jalur aliran fluida termal sehingga menjadi petunjuk lokasi zona *steam reservoir* atau *reservoir* Suryantini dan Wibowo, 2010).

Lokasi penelitian adalah Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran (Gambar 1), secara administratif terletak di Desa Gedongsongo, Kecamatan Sumowono, Kecamatan Bandungan dan Bawen, Kabupaten Semarang Jawa Tengah, dengan luas areal sekitar 20 x 7 km<sup>2</sup>. Daerah penelitian ini menempati ketinggian 400–1300 m di atas permukaan laut dan terletak di lereng bagian selatan dari Gunung Ungaran.

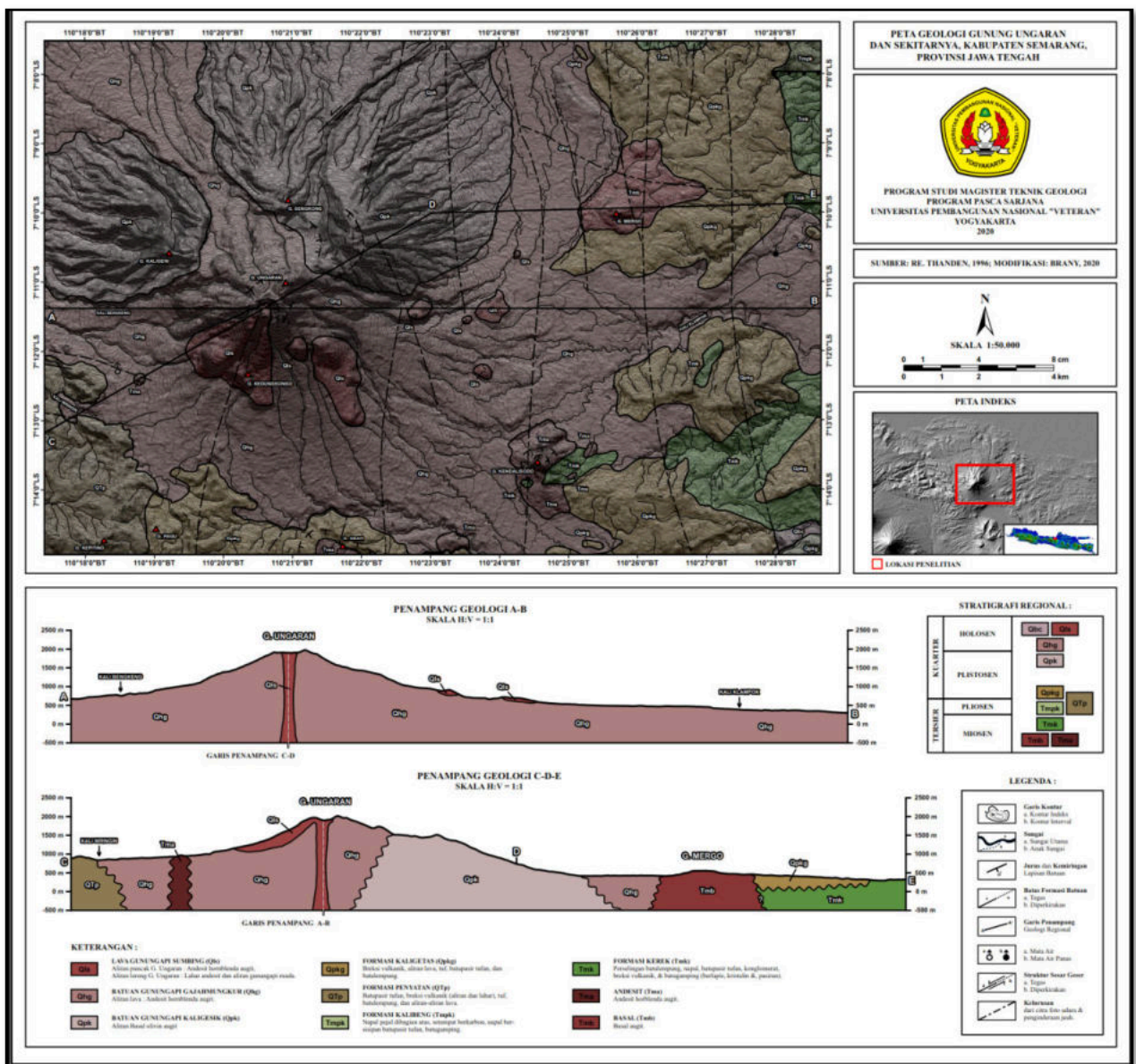
### TATANAN GEOLOGI

Gunung Ungaran adalah gunung api bertipe strato yang letaknya dekat dengan pantai utara Jawa. Berdasarkan peta fisiografis oleh Van Bemmelen (1949), maka lokasi penelitian Gunung Ungaran termasuk ke dalam wilayah Jawa Tengah bagian utara yang merupakan deretan pegunungan Serayu Utara dan zona antiklinorium Kendeng. Aktivitas tertua (*oldest* Ungaran) pada Pleistosen Awal–Tengah, terbentuk Formasi Damar yang merupakan breksi lahar yang tersingkap di Perbukitan Candi. Erosi yang terjadi setelahnya membentuk konglomerat, batupasir tufan, breksi vulkanik, dan tuf yang menjadi bagian atas formasi ini. Kerucut Ungaran tertua ini kemudian runtuh dengan sisa yang dapat ditemukan di lereng utara (Bemmelen, 1949; Thanden dkk., 1996). Kedua, aktivitas Ungaran Tua pada Pleistosen Tengah yang menghasilkan andesit, andesit basaltik, dan basalt. Produk ini tererosi dan terendapkan kembali sebagai breksi lahar berselingan dengan lapisan tuf yang disebut Formasi Notopuro. G.Turun dan G.Kendalisodo adalah contoh dari perwujudan kerucut parasit (van Bemmelen, 1949). Ungaran Muda mulai tumbuh selama Pleistosen Akhir–Holosen Awal.

Aliran lava pada daerah puncak cukup tebal dan merupakan kubah lava fasies sentral yang terkekarkan, tersusun oleh aliran lava basalt olivin-augit dan lava andesit hornblende. Endapan piroklastik tersebar dari bagian sentral menuju proksimal berupa breksi andesit (Thanden dkk., 1996).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

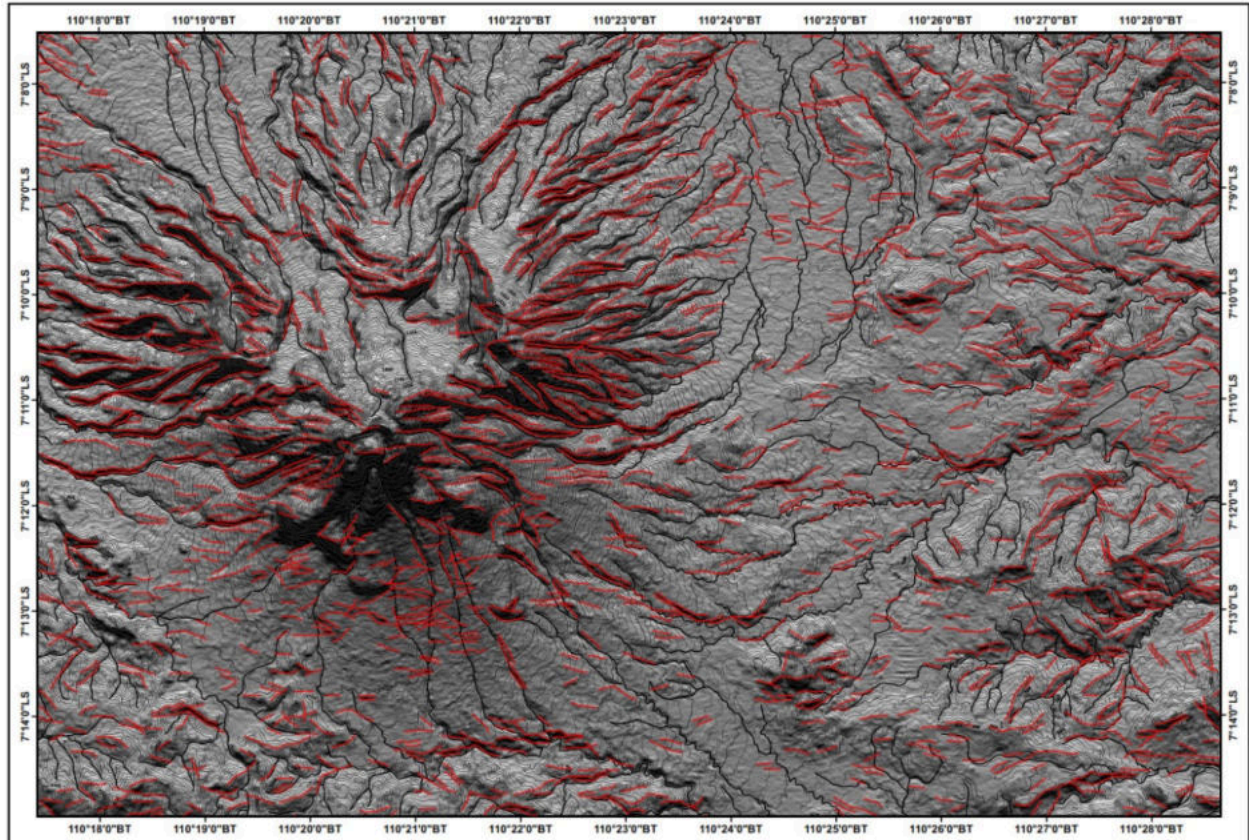


Gambar 2. Peta Geologi Gunung Ungaran dan Sekitarnya (Thanden,1996)

## TEORI DAN METODE PENELITIAN

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 panas bumi. Bidang sesar yang permeabel menjadi target dalam eksplorasi panas bumi. Fluida panas yang mengalir terutama melalui zona rekahan dan sesar berinteraksi dengan batuan sekitar dan memperlihatkan pola kelurusan.

Metode penelitian yang digunakan adalah menganalisis kelurusan pada peta elevasi digital DEM dan citra Landsat 8 (Gambar 3). Selanjutnya, dari peta elevasi digital dibuat shaded relief daerah panas bumi dengan menggunakan 4 azimuth cahaya yang berbeda, yaitu 00, 450, 900 dan 3150 dan dengan ketinggian cahaya 450, kemudian ditarik kelurusan. Kelurusan yang telah ditarik (Gambar 4), dihitung nilai panjangnya dan dikelompokkan pada grid 2 x 2 km yang dibuat secara acak, selanjutnya dibuat peta kontur nilai *fault and fracture density* yang diasumsikan bahwa pada densitas struktur tertinggi berasosiasi dengan pusat pergerakan fluida. Pada penelitian ini dipergunakan juga peta sebaran anomali Hg--CO<sub>2</sub> dalam sampel tanah dan peta geologi untuk melihat korelasi kelurusan versus sebaran manifestasi.



**Gambar 3.** Peta Penarikan Kelurusan Gunung Ungaran dan Sekitarnya (Citra Landsat 8+, 2019)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

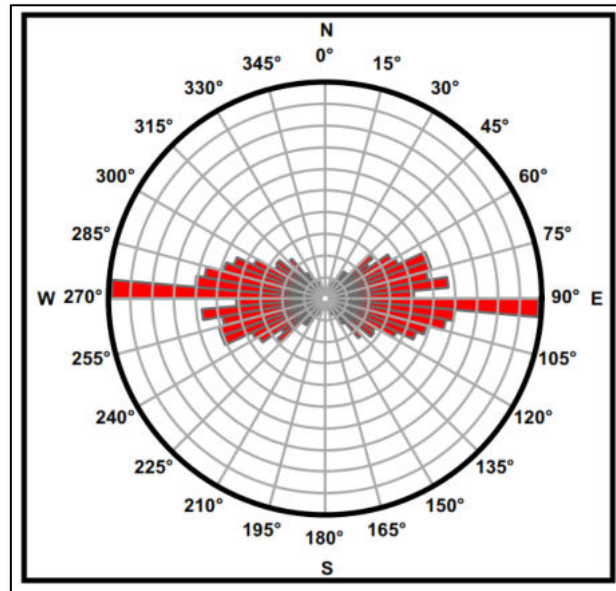
Identifikasi struktur geologi daerah penelitian dilakukan dengan cara pengamatan pola kelurusan dari gabungan antara peta citra landsat 8+ETM dan peta DEM (Gambar 3). Kelurusan dapat diartikan sebagai elemen linear geomorfologi yang merepresentasikan struktur geologi atau kontak litologi. Kenampakan kelurusan di permukaan bumi dicerminkan dengan adanya kelurusan morfologi yang disebabkan oleh relief, seperti kelurusan lembah, punggung dan sungai.

Berdasarkan hasil penarikan kelurusan patahan dan rekahan yang kemudian dimasukkan dalam diagram Roset (Gambar 4), arah kelurusan utama struktur di daerah prospek panasbumi Gunung Ungaran terdiri dari tren kelurusan utama, yaitu arah N90°--105°E atau N270°—285°E (arah umum barat – timur). sesuai dengan arah sesar pada peta geologi (Gambar 2). Dengan menggunakan metode FFD, didapatkan kelurusan-kelurusan yang berasosiasi dengan struktur yang ada di daerah tersebut (Gambar 5) atau merupakan refleksi gambaran dari topografi berupa kelurusan sungai, kelurusan lembah, struktur sesar maupun rekahan, kontak batuan dan kemunculan manifestasi panas bumi.

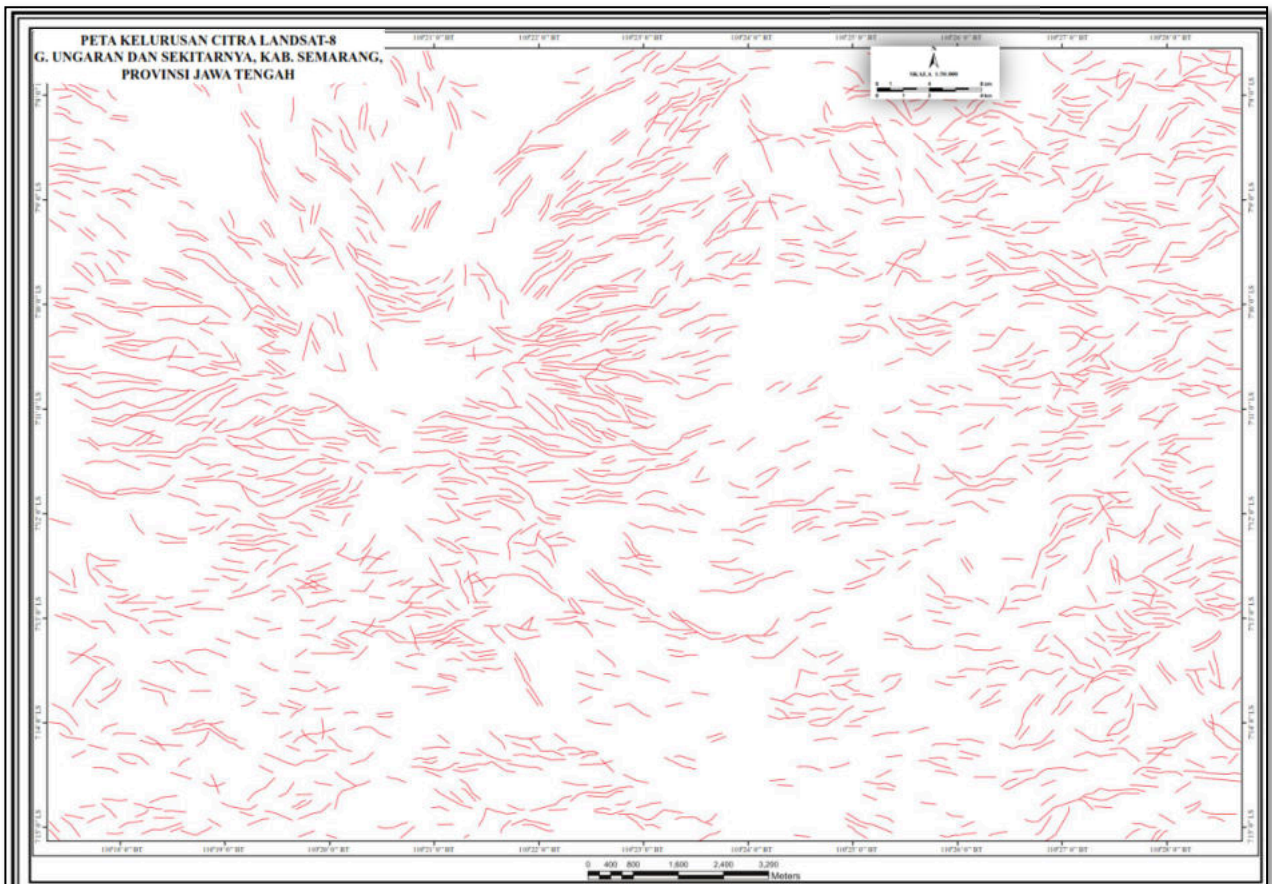
### Peta Fault Fracture Density

Pada tahap interpretasi ini, nanti akan dibuat suatu peta FFD (*Fault Fracture Density*) dari suatu penarikan kelurusan yang berfungsi untuk mengetahui daerah yang memiliki densitas struktur tertinggi yang berasosiasi dengan pusat pergerakan fluida sehingga dapat menjadi petunjuk lokasi daerah permeabel atau reservoir. Peta ini berfungsi untuk mengidentifikasi kelurusan atau *lineament* topografi yang diakibatkan oleh sesar dan kekar di daerah Gunung Ungaran. Dengan densitas kekar yang berbeda-beda, lapangan panas bumi Gunung Ungaran dapat digunakan sebagai identifikasi

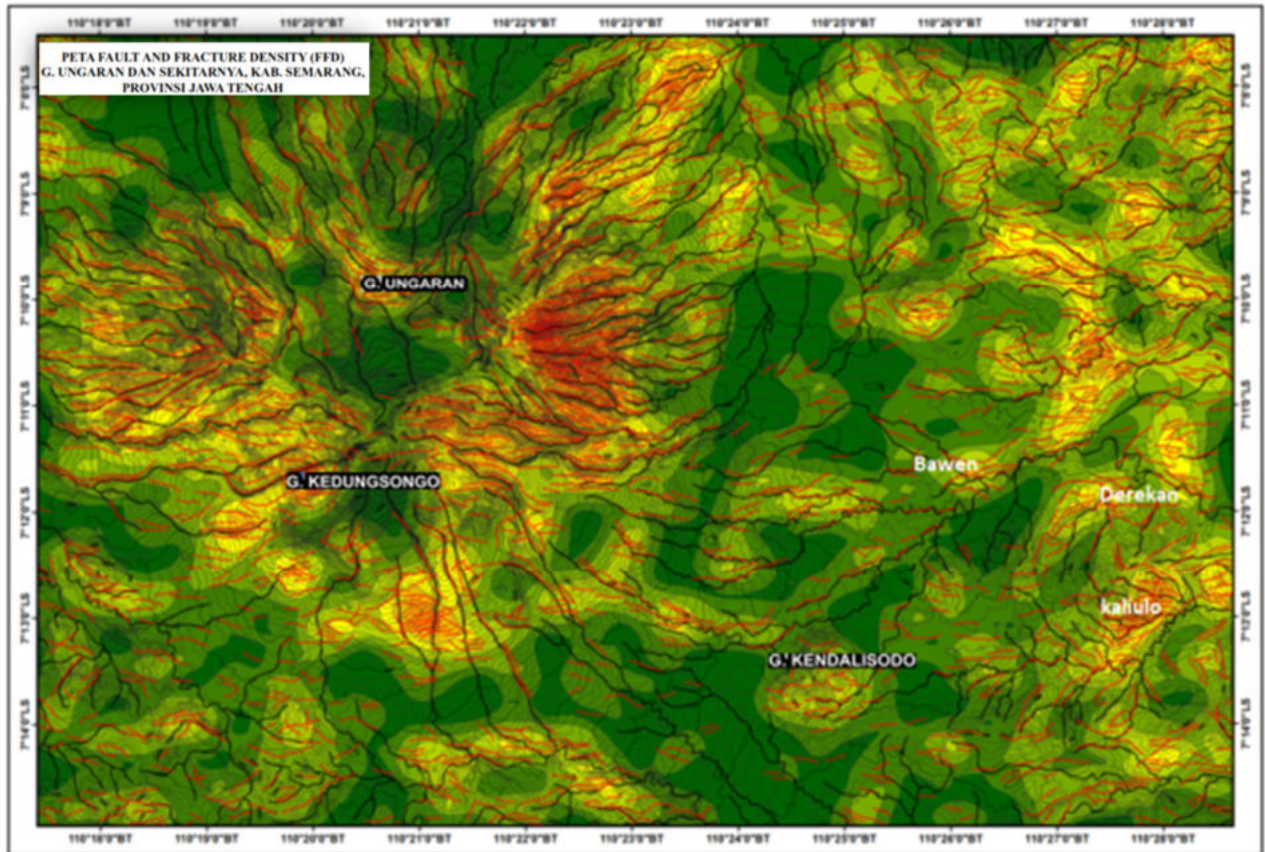
awal dalam delineasi area prospek Panasbumi Gunung Ungaran Jawa Tengah. Berdasarkan hasil perhitungan nilai densitas pada Peta *Fault Fracture Density* (Gambar 5), daerah Panas Bumi Gunung Ungaran dapat dikelompokkan menjadi 3 kelas densitas, yaitu densitas tinggi (8500 - 9700 m/km) yang ditunjukkan dengan warna merah, densitas sedang (4800 - 8500 m/km) yang ditunjukkan dengan warna kuning dan densitas rendah (< 4800 m/km) dengan warna hijau (Gambar 6). Daerah dengan densitas tinggi berada di sekitar daerah Candi Gedongsongo, Nglimut, dan Umbul Sidomukti. Daerah dengan densitas sedang berada di sekitar daerah G.Kendalisodo, Diwak dan Kali Ulo. Daerah bernilai densitas tinggi berasosiasi dengan lava dan piroklastik. Kenampakan topografi menunjukkan adanya beberapa sesar dan rekahan yang mengontrol deformasi di daerah ini, dan struktur graben mengontrol deformasinya. Sesar dan rekahan sedikit mengontrol daerah Diwak dan Kali Ulo.



**Gambar 4.** Diagram Roset Penarikan Kelurusan Daerah Gunung Ungaran dari 4 Sudut Cahaya yang Berbeda ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $315^{\circ}$ )



**Gambar 5.** Peta Hasil Penarikan Kelurusan Daerah Gunung Ungaran dari 4 Sudut Cahaya yang Berbeda ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $315^{\circ}$ )



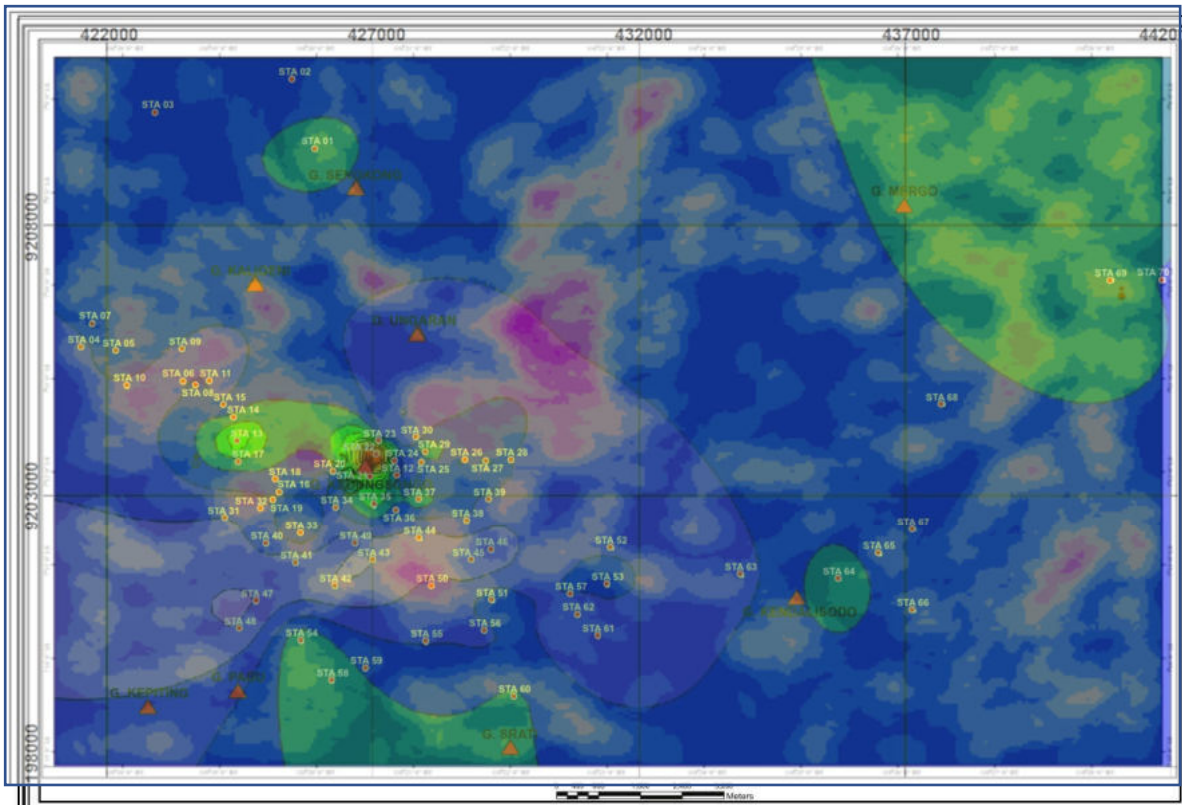
Gambar 6. Peta *Fault Fracture Density* Gunung Ungaran dan Sekitarnya

Kelurusan atau lineament diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi jalur pergerakan fluida termal sehingga dapat menjadi petunjuk lokasi daerah permeabel atau reservoir. Dengan densitas struktur yang tinggi maka dimungkinkan pusat pergerakan fluida berada pada lokasi yang memiliki kerapatan struktur yang paling tinggi. Daerah dengan densitas struktur tinggi mempunyai jumlah kelurusan yang banyak. Daerah ini terletak pada kemiringan terjal–menengah dan umumnya mengontrol manifestasi yang ada di daerah penelitian seperti mata air panas Gedongsongo, gas fumarol desa Candi dan tanah beruap disekitar candi Gedongsongo. Sebagai bahan kompilasi digunakan peta *fault fracture density* yang dikompilasi dengan peta anomali CO<sub>2</sub> dan Hg sebagai berikut (Gambar 7 dan Gambar 8). Dari hasil peta tersebut terlihat bahwa daerah anomali CO<sub>2</sub> dan Hg menempati beberapa area dengan densitas yang tinggi berada di sekitar kawasan Candi Gedongsongo dan sepanjang Kali Item.

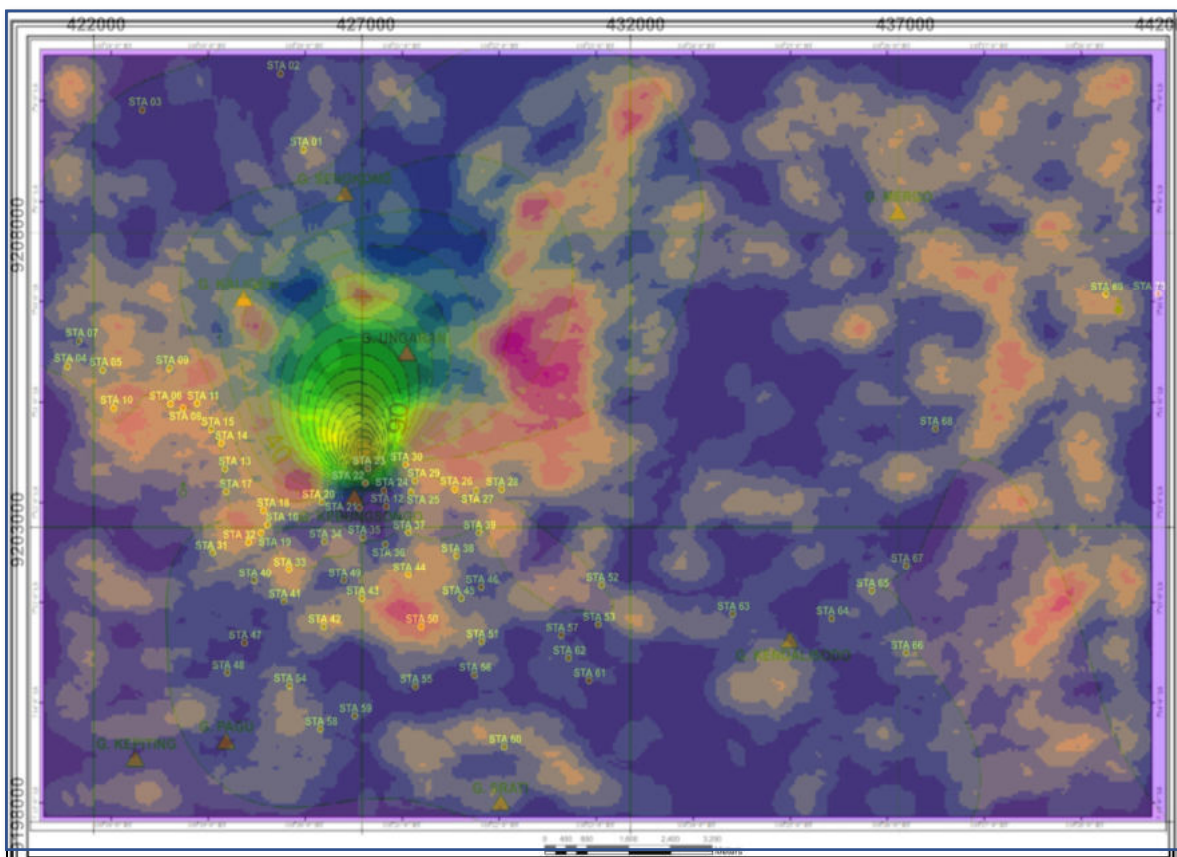
#### Pengaruh Struktur terhadap Aliran Fluida Panas Bumi

Fluida panas bumi mengalir pada lapisan batuan reservoir pada zona keluaran langsung (*upflow*) menuju ke keluaran zona tepi (*outflow*). Reservoir adalah lapisan batuan atau tanah yang mampu menerima dan menyimpan air dan sistem panas bumi berhubungan dengan akuifer air tanah. Ada dua jenis media penyusun akuifer yaitu media pori-pori dan media rekahan. Media rekahan merupakan porositas sekunder pada batuan yang dihasilkan akibat proses struktur geologi. Dari hasil peta FFD (Gambar 6) yang telah dibuat, terlihat densitas struktur yang tinggi maka dimungkinkan pusat pergerakan fluida berada pada lokasi yang memiliki kerapatan struktur paling tinggi ini.

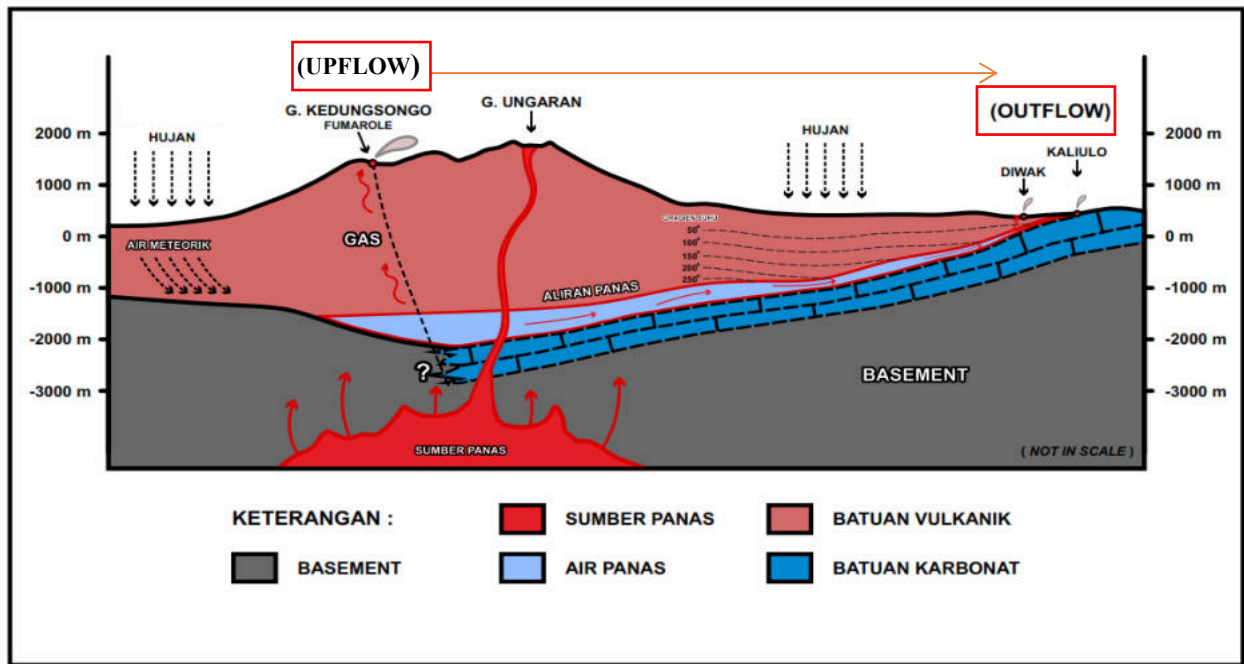
Daerah dengan densitas struktur tinggi mempunyai jumlah kelurusan yang banyak, terletak pada kemiringan terjal–menengah, dan umumnya mengontrol manifestasi zona *upflow* yang ada di sekitar daerah penelitian seperti mata air panas Candi Gedongsongo, fumarola dan batuan alterasi sepanjang daerah struktur sungai Item. Area prospek panasbumi Gunung Ungaran dan sekitarnya yang memiliki densitas sedang yaitu di daerah Diwak–Dorekan, Candi Ngampon, dan Kali Ulo, memanjang ke arah timur yang ditunjukkan dengan warna kuning. Daerah ini merupakan daerah munculnya manifestasi panasbumi suhu rendah (*outflow*) berupa kolam air hangat. Dengan menyatukan hasil analisis FFD dan geologi pada daerah penelitian maka dapat dibuat model pola aliran fluida panas bumi (Gambar 9).



Gambar 7. Peta Fault Fracture Density yang Dikombinasikan dengan Peta Anomali Hg



Gambar 8. Peta Fault Fracture Density yang Dikombinasikan dengan Peta Anomali CO<sub>2</sub>



Gambar 9. Model Hidrokimia Aliran Fluida Panas Bumi Gunung Ungaran

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur geologi daerah penelitian yang diidentifikasi melalui interpretasi citra meliputi: struktur sesar, kekar dan kelurusan dengan orientasi kelurusan struktur geologi dengan arah umum relatif barat—timur.
2. Daerah yang terdapat manifestasi panasbumi akan memiliki densitas struktur tinggi pada peta FFD, namun daerah dengan densitas struktur tinggi tidak akan selalu muncul manifestasi di permukaan.
3. Berdasarkan peta FFD, daerah yang menunjukkan densitas tinggi adalah zona *upflow* yakni pada daerah Candi Gedongsongo, ditunjukkan dengan manifestasi fumarola, mata air panas dan tanah beruap (*steaming ground*); sebaliknya daerah dengan densitas sedang adalah zona tepi (*outflow*) pada daerah Diwak—Derakan dan Kali Ulo.
4. Area prospek pada lapangan panas bumi Ungaran adalah pada zona *upflow* yaitu pada area candi Gedongsongo dan sekitarnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anonim, 2008, *Potensi Energi Panas Bumi Indonesia*, Badan Geologi.

Anonim, 2011, *Buku Potensi Panas Bumi di Indonesia Tiap Pulau*, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.

Anonim, 2015 *Buku Panduan Penyelidikan Panas Bumi*, Pusat Sumber Daya Geologi.

Anonim, 2018, *Peta Elevasi Digital Daerah Panasbumi Gunung Ungaran: Hasil Interpretasi Citra Landsat TM Daerah Gedongsongo – Nglimut*.

Boko, Wahyudi, dan Suyanto, I., 2003, *Analisis Data Magnetik untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunung Api Ungaran*, Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

Santoso, D., 2007, *Eksplorasi Energi Geotermal*, Bandung: Departemen Teknik Geofisika ITB

Saptadji, N.M., 2003, *Teknik Panas Bumi*, Bandung: Departemen Teknik Perminyakan ITB.

Suryantini and Wibowo, H.H., 2010, Application of Fault and Fracture Density (FFD) Method for Geothermal Exploration in Non-Volcanic Geothermal System; a Case Study in Sulawesi-Indonesia, *Proceedings of World Geothermal Congress, Bali, Indonesia*.

Listyani, T., 2013, Tinjauan Hidrogeologi Sebagai Pendukung Potensi Panas Bumi Daerah Gedongsongo, Jawa Tengah, *Geotek, Jurnal Teknologi, Volume 6 Nomor 1*.

Rezky, dkk., 2012., *Sistem Panas Bumi dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Ungaran Jawa Tengah*, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.

