

ANALISIS KEBERADAAN MANIFESTASI PANAS BUMI MENGUNAKAN FAULT FRACTURE DENSITY (FFD) DI KECAMATAN TEMPURAN, KABUPATEN MAGELANG

ANALYSIS OF THE EXISTENCE OF GEOTHERMAL MANIFESTATIONS USING FAULT FRACTURE DENSITY (FFD) IN TEMPURAN DISTRICT, MAGELANG REGENCY

Salma Khoirunnisa^{1,*}, Nugroho Budi Wibowo^{1,2}, Hana Rosyida¹, Icha Khaerunnisa¹, Dea Mutiara
Jannah¹, Fathunajah Elsha C.¹, Indar Mery S. A.¹

¹Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
Jl.Laksda Adisucipto Sleman, Gedung Student Center Lt. III No. 3.70

²BMKG, Stasiun Geofisika Sleman, Jl Wates km 8 Jitengan Balecatour Sleman

*Email corresponding: 21106020046@student.uin-suka.ac.id

²Email: nugrohobudiwibowo@gmail.com

How to cite: S. Khoirunnisa, N. B. Wibowo, H. Rosyida, I. Khaerunnisa, D. M. Jannah, F. Elsha C, and I. Mery S. A "Analisis keberadaan manifestasi panas bumi menggunakan fault fracture density (FFD) di Kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang," *Kurvatek*, vol. 9, no. 1, pp. 63-72, 2024. doi: 10.33579/krvtk.v9i1.4701 [Online].

Abstrak — Berada pada jalur api aktif, menjadikan wilayah Indonesia mempunyai potensi panas bumi. Lokasi penelitian panas bumi berada pada wilayah Tempuran Kabupaten Magelang. Metode yang dilakukan yaitu dengan menggunakan kelurusan pada data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) dan dihitung dengan metode *Fault Fracture Density* (FFD) yang hasilnya berupa peta kontur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan manifestasi panas bumi dengan nilai FFD. Hasil penelitian menunjukkan nilai FFD pada kawasan manifestasi panas bumi Tempuran bervariasi antara 0.09 - 1.80 km/km². Nilai FFD tersebut menunjukkan bahwa manifestasi panas bumi Tempuran berada pada zona kepadatan yang rendah. Tidak terdapat korelasi secara langsung antara keberadaan manifestasi panas bumi dengan nilai FFD. Manifestasi panas bumi Tempuran diduga berhubungan dengan formasi geologi yang tersusun atas batuan vulkanik dan berkaitan dengan sistem akuifer, serta patahan yang berarah Barat Laut-Tenggara.

Kata kunci: Mata air panas, FFD, Struktur geologi, Formasi, Tempuran

Abstract — Being in an active fire lane means that Indonesia has geothermal potential. The geothermal research location is in the Tempuran area, Magelang Regency. The method used is by using alignment in the *National Digital Elevation Model* (DEMNAS) data and calculating it using the *Fault Fracture Density* (FFD) method, the result of which is a contour map. This research aims to identify the existence of geothermal manifestations with FFD values. The research results show that the FFD value in the Tempuran geothermal manifestation area varies between 0.09 - 1.80 km/km². The FFD value shows that the Tempuran geothermal manifestation is in a low density zone. There is no direct correlation between the presence of geothermal manifestations and the FFD value. The Tempuran geothermal manifestation is thought to be related to geological formations composed of volcanic rock and related to an aquifer system, as well as faults that trend northwest-southeast.

Keywords: Geothermal, FFD, Geological structure, Formations, Tempuran.

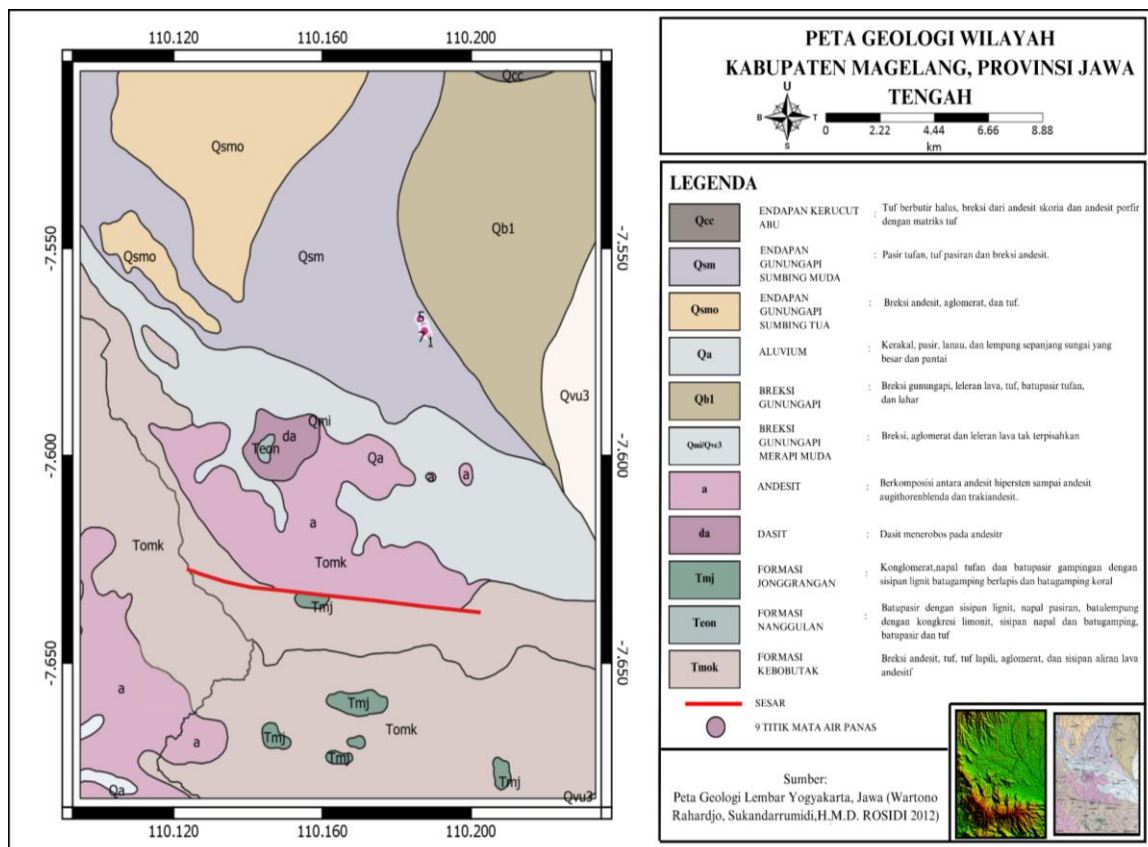
I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng, yaitu Lempeng India-Australia yang cenderung bergerak ke Utara, Lempeng Pasifik yang cenderung bergerak ke arah Barat Laut, dan Lempeng Pasifik yang cenderung diam [1]. Dampak interaksi ini memberikan pengaruh besar terhadap tatanan tektonik di

Indonesia [2], salah satunya menjadikan Indonesia berada pada wilayah rangkaian gunung berapi dan tektonik aktif [3]. Berada pada jalur gunung api aktif, menjadikan wilayah Indonesia mempunyai potensi panas bumi yang tinggi terutama adanya sumber energi panas sebagai komponen penyusun panas bumi. Pada data juga ditunjukkan bahwa Indonesia memiliki 40% cadangan energi panas bumi atau *geothermal* di dunia [4]. Sementara pengaruh tektonik aktif menjadikan banyak sesar di Indonesia. Banyak para peneliti melakukan eksplorasi hanya pada sistem panas bumi vulkanik karena memberikan kontribusi besar sehingga menarik untuk dilakukan analisis [5].

Energi panas bumi adalah energi yang tersimpan pada keadaan geologi tertentu di dalam beberapa kilometer dalam kerak bumi dengan bentuk berupa air panas atau uap panas. Keberadaan reservoir panas bumi di bawah permukaan tergambar melalui kemunculan manifestasi seperti mata air panas, kolam lumpur dan lain lain [6], [7]. Uap dan air akan muncul ke permukaan melalui kekar dan sesar yang terbentuk [8], [9]. Sesar dan kekar dipermukaan diasumsikan sebagai bidang lemah yang menjadi lokasi zona reservoir [10]. Kemunculan Mata air panas ini terjadi pada wilayah kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang.

Patahan-patahan yang disebabkan oleh gempa tektonik menjadi salah satu faktor masuknya cairan panas bumi [11]. Berdasarkan peta geologi regional [12], terdapat struktur sesar normal yang berada pada wilayah penelitian dengan arah Barat Laut-Tenggara (Gambar 1). Keberadaan sesar tersebut menjadi asumsi munculnya sejumlah manifestasi panas bumi di wilayah penelitian. Selain itu, dari gambar 1 juga diketahui formasi pada wilayah penelitian ialah formasi endapan Gunungapi Sumbing muda yang disusun oleh pasir tufan, tufan pasir, dan breksi andesit. Sementara pada bagian timur wilayah penelitian disusun oleh batuan vulkanik berupa breksi Gunungapi dan bagian barat terdapat formasi endapan Gunungapi Sumbing tua.



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian

Lokasi penelitian panas bumi ini berada pada wilayah Kecamatan Tempuran Kabupaten Magelang. Secara Geografis, wilayah penelitian ini terletak pada koordinat 110 05'41.5644" – 110 14'00.5743" BT dan 7 30'26.1252" - 7 40'57.7184" LS dengan luas 15.6 x 19.6 km². Pada wilayah tersebut terdapat 9 titik yang menjadi sumber kemunculan mata air panas (Gambar 2).

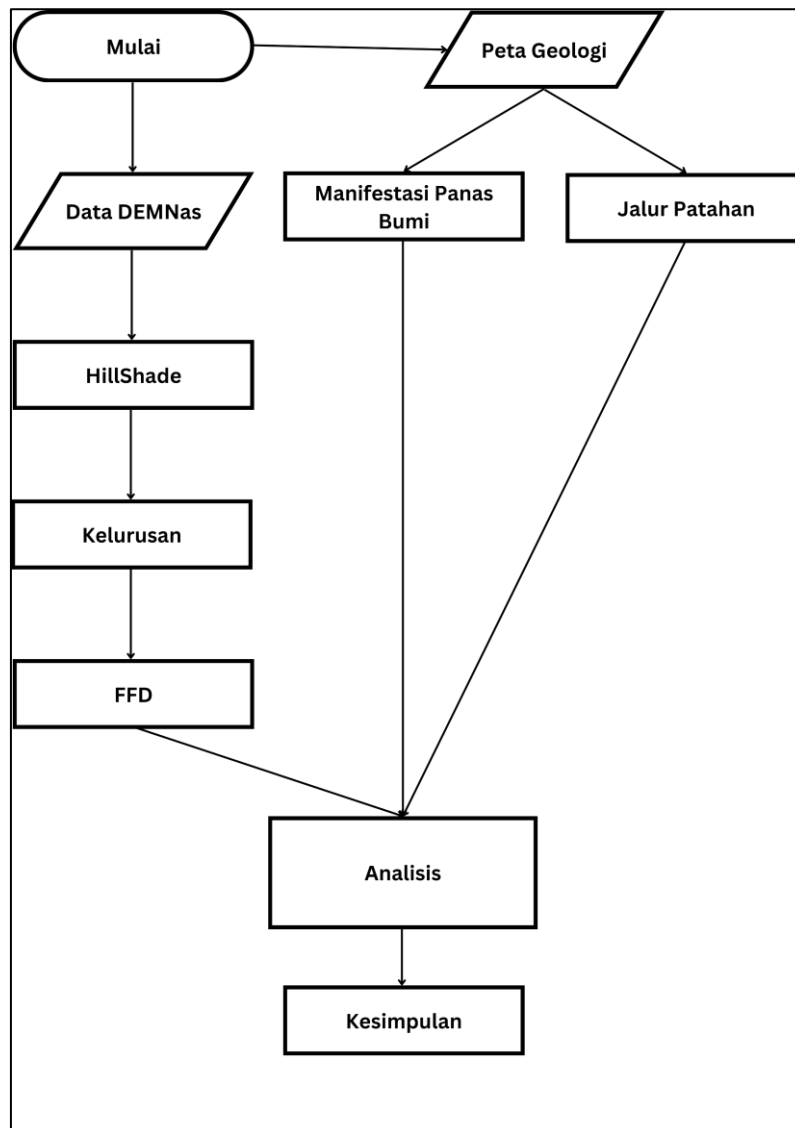


Gambar 2. Peta lokasi penelitian

Metode *Fault Fracture Density (FFD)* merupakan metode untuk menentukan zona permeabel sebagai indikator reservoir panas bumi [13]. Metode ini memberi penjelasan tentang zona densitas rekahan yang tinggi, zona ini memiliki potensial yang memberi jalan fluida sehingga terjadi siklus hidrologi pada sistem panas non-vulkanik [14]. Tujuan dilakukannya *Fault Fracture Density (FFD)* yaitu peneliti memiliki gambaran korelasi struktur geologi dan sebaran manifestasi sebelum melaksanakan eksplorasi [15]. Pada penelitian yang dilakukan, zona manifestasi dianalisis dari data kelurusan, peta demnas, peta geologi, dan juga *Fault Fracture Density (FFD)* sehingga dengan data tersebut dapat diketahui faktor geologi yang memicu kemunculan mata air panas di Wilayah Magelang, khususnya Kecamatan Tempuran.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan menggunakan metode penginderaan jauh dari data dem dan metode ffd yang dihitung dari data kelurusan. kelurusan dibentuk dari menarik garis pola punggung sampai lembahan dengan aplikasi global mapper. dari pola tersebut kemudian dihitung panjang untuk masing masing kelurusan. penarikan pola tersebut diasumsikan sebagai zona lemah yang menjadi perkerakan fluida. oleh karena itu, pola tersebut dapat menunjukkan korelasi dengan zona permeabel. Proses dari penelitian ini digambarkan oleh diagram alir dibawah (Gambar 3)



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

A. Analisis Pola DEM

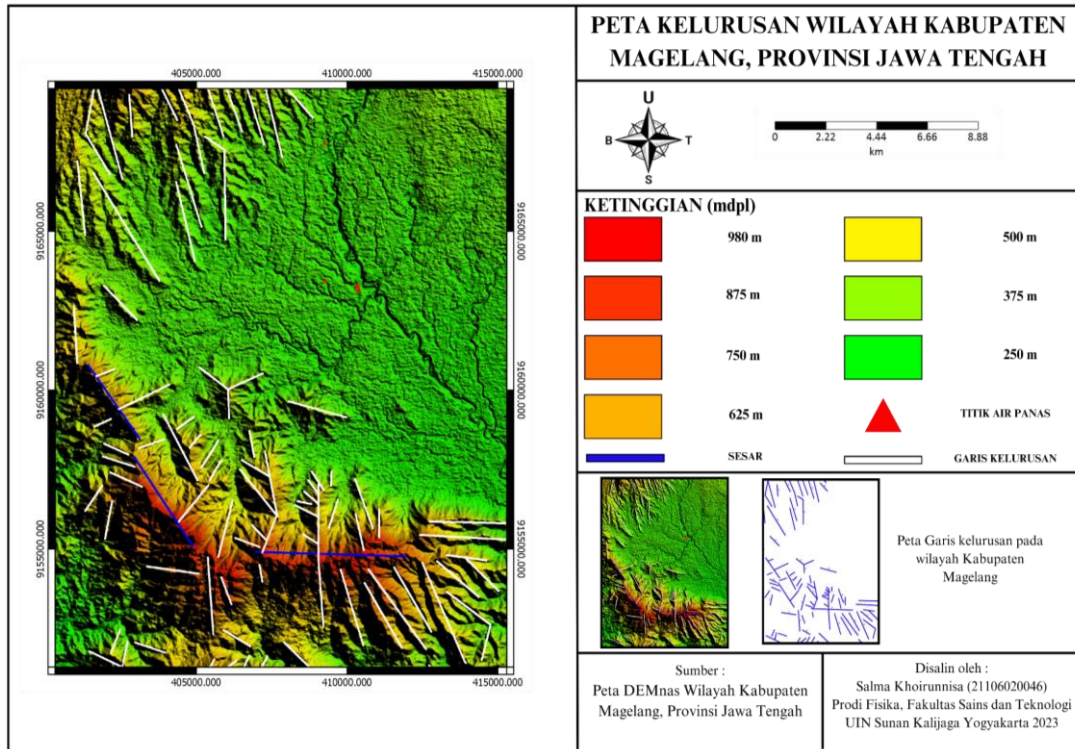
Pola kelurusan didapatkan berdasarkan kenampakan melalui citra *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) [16]. Kondisi Geomorfologi suatu wilayah dapat kita ketahui dengan DEMNAS. Dari data tersebut didapatkan zona gambaran *highlight* rekahan yang menjadi jalur fluida. Penggambaran kelurusan diperoleh dengan memberikan pola pola pada DEM yang dibuat secara manual (Gambar 4). Hasil *deliniasi* pola kelurusan diketahui memiliki arah Barat Laut-Tenggara berdasarkan *rose diagram* (diagram mawar) yang telah dibuat (Gambar 5).

B. Analisis FFD

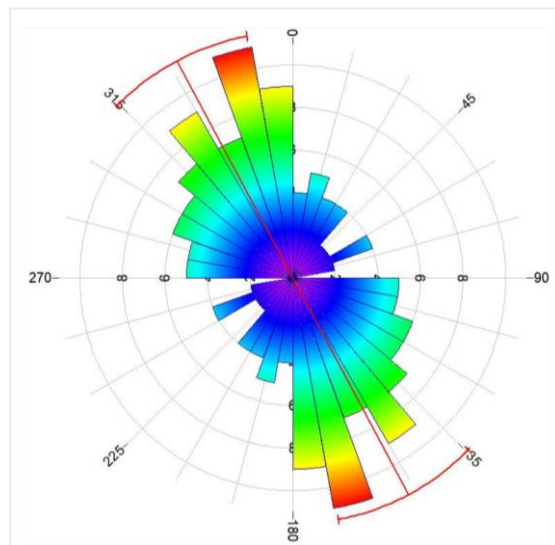
Fault Fracture Density (FFD) ialah metode yang menentukan tinggi atau rendahnya suatu zona permeabilitas berdasarkan tingkat kepadatan dari kelurusan [14]. Pada wilayah kajian, kepadatan kelurusan dihitung berdasarkan luasan grid 2 x 2 km². Proses ini bertujuan untuk mengetahui secara detail dan merata nilai kerapatan kelurusan pada wilayah penelitian. Kepadatan pada masing masing grid kemudian dihitung dari jumlah panjang total kelurusan dibagi jumlah luasan grid setiap area [14] dan dibuat kontur kerapatan pada *software Rockwork* yang diberikan skala warna guna menunjukkan tingkat zona densitas. Hasil yang didapatkan berupa peta kontur yang memberikan gambaran pada wilayah penelitian (Gambar 6). Wilayah dengan kerapatan tinggi menunjukkan zona lemah atau zona yang berkorelasi terhadap keberadaan manifestasi panas bumi [13].

III. HASIL DAN DISKUSI

Analisis Manifestasi panas bumi menggunakan *Fault Fracture Density (FFD)* dilakukan dengan terlebih dahulu menggunakan tahapan delineasi kelurusan. Untuk dapat mendelineasi kelurusan tersebut, pada peta DEMNAS perlu dianalisa untuk bentuk pola-pola yang ada. Pembentukan kelurusan secara manual dapat dilakukan pada *software* Global Mapper. Berdasarkan pola yang telah dibuat kelurusan terdapat berada pada bagian selatan. Hal ini mungkin dipicu oleh adanya sesar normal pada daerah tersebut. Arah kelurusan wilayah tersebut didominasi pada Barat-Tenggara yang diperkuat dengan diagram mawar yang diperoleh melalui *software* Rockwork. Setelah melakukan analisa delineasi, dilakukan proses tahapan untuk kepadatan patahan.

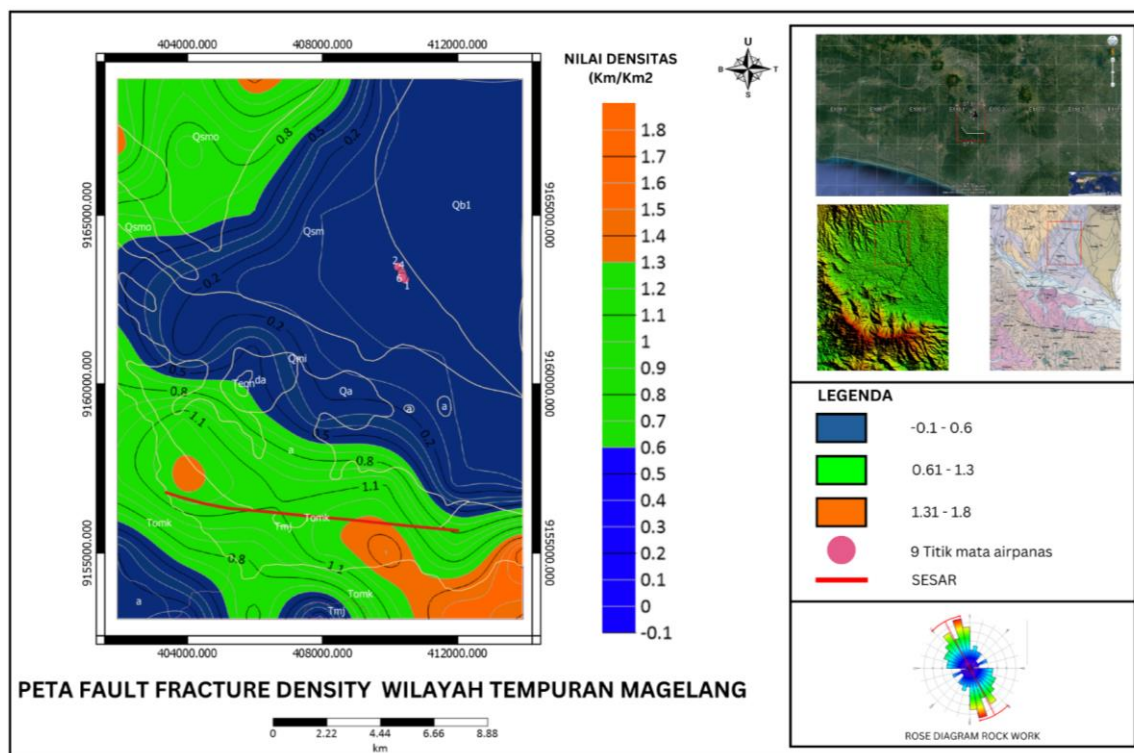


Gambar 4. Peta kelurusan pada wilayah penelitian



Gambar 5. Diagram Mawar wilayah penelitian

Proses melakukan pembagian grid pada wilayah tersebut diperoleh dari *software* Qgis. Proses ini dilakukan untuk mengetahui secara detail nilai densitas kelurusan. Setiap grid akan dihitung total panjang kelurusan pada masing masing grid. Nilai *FFD* yang didapatkan berada pada rentang 0.09 - 1.80 km/km². Nilai pada masing masing grid tersebut kemudian dijadikan kontur kerapatan pada *software* surfer yang diberikan skala guna menunjukkan tingkat kelurusan zona densitas.



Gambar 6. Peta fault fracture density wilayah Magelang

Berdasarkan analisa, nilai *FFD* dibagi menjadi 3 kelas seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1. Klasifikasi Nilai *FFD*

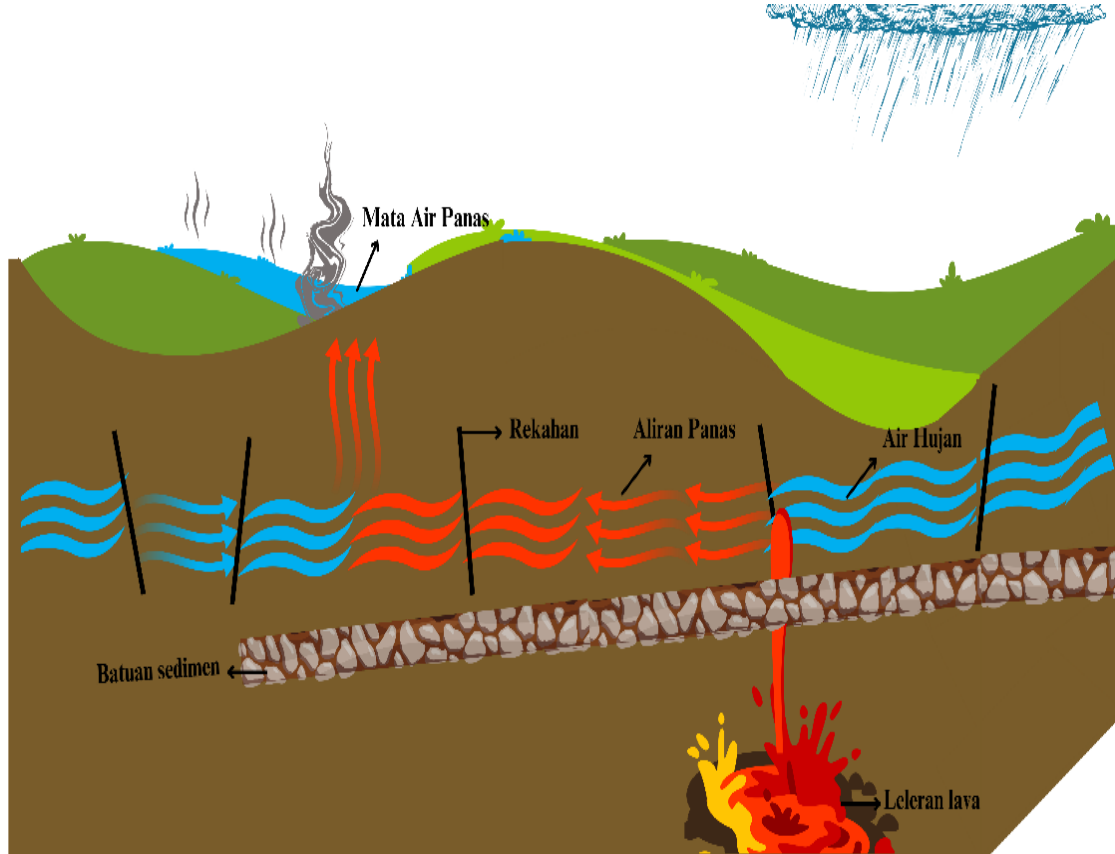
Zona	FFD (km/km ²)	Warna
Rendah	-0.1 – 0.6	Biru
Sedang	0.61 – 1.3	Hijau
Tinggi	1.31 – 1.8	Merah

Wilayah Penelitian tersebut memiliki arah kelurusan yang dominan dari Barat Laut - Tenggara . Pada sekitar wilayah tersebut juga ditemukan sesar normal dengan arah kelurusan sama yang berjarak kurang lebih 7 km dari wilayah penelitian. Jauh atau dekatnya wilayah penelitian juga mempengaruhi suhu yang dihasilkan oleh air panas. Hasil kerapatan menunjukkan jika sesar-sesar tersebut berada pada zona sedang sementara keberadaan wilayah mata air panas tersebut berada pada nilai *FFD* dengan zona yang rendah

Keberadaan mata air panas di Kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang terletak tidak jauh dari sesar utama yang ada. Wilayah ini berada pada blok naik pada sesar sehingga munculnya mata air panas yang ada ini diinterpretasikan berasosiasi dengan struktur sesar dan kekar yang berada pada batuan penyusun di zona tersebut. Dari peta geologi yang diperlihatkan pada Gambar 1, ke 9 titik sumber mata air panas tersebut memiliki formasi yang sama yaitu endapan gunungapi sumbing muda dengan batuan penyusunnya yaitu batu pasir tuff, tuf pasiran, dan breksi andesit. Batuan pada formasi tersebut didominasi oleh batuan sedimen. Batuan ini merupakan batuan yang mengalami silisifikasi dimana panas terkonduksi dan merambat melalui batuan ini, sementara konveksi panas dialirkan melalui fluida di sekitar zona permeabilitas (rekahan batuan) [17].

Hipotesis munculnya mata air panas ini juga dipengaruhi oleh formasi breksi gunung api dan breksi gunungapi muda yang berada di dekat wilayah penelitian dengan batuan penyusun salah satunya yaitu

lelehan lava dan juga lahar. Oleh karenanya, sumber panas pada penyusun formasi ini kemudian merambat pada batuan yang memiliki tingkat konduktivitas yang baik seperti batuan sedimen sehingga air tanah akan terpanasi di kedalaman dan naik ke permukaan melalui rekahan yang ada, seperti yang digambarkan pada Gambar 7. Artinya, selain berkorelasi dengan sesar yang ada, manifestasi panas bumi ini juga berkorelasi juga dengan aktivitas vulkanik. [18].

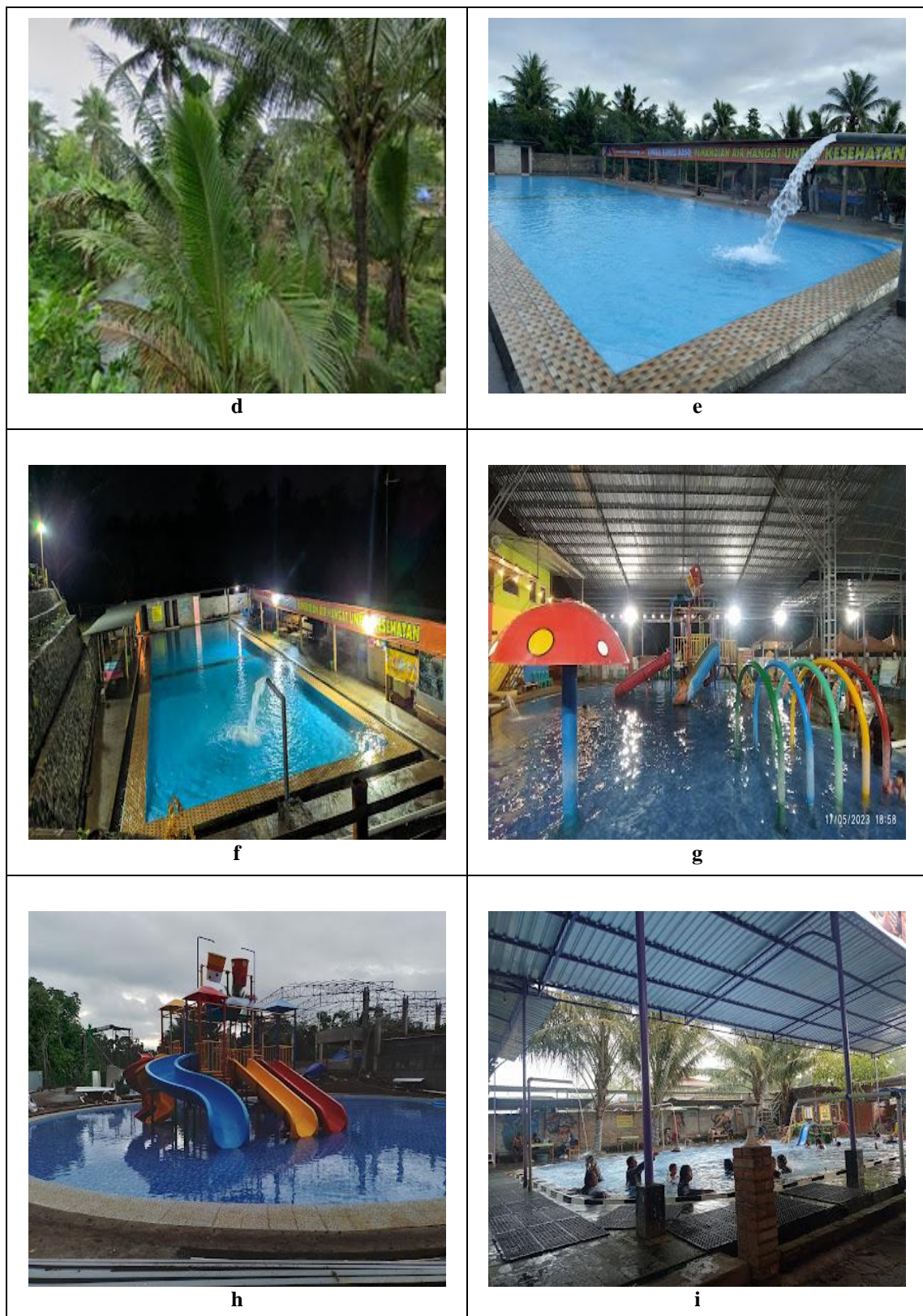


Gambar 7. Animasi munculnya mata air panas

Saat ini keberadaan mata air panas, dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar dengan baik, salah satunya dengan menjadikan sebagai tempat wisata kolam renang. Pemanfaatan dari kolam renang itu sendiri bisa dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Terdapat 9 mata air panas yang saat ini dijadikan sebagai wisata kolam renang.



Gambar 8. Pemanfaatan Air Panas: **a.** Kolam Renang Tirta Sambara, **b.** Kolam Renang Azzira Tirta Gemilang, dan **c.** Pemandian Air Hangat Ngasinan [19]



Gambar 9. Pemanfaatan Air Panas: **d.** Pemandian Air Hangat Tirta Dambara, **e.** Kolam Renang Sumberarum, **f.** Pemandian Air Panas Umbul Banyu Roso, **g.** Lintang Waterpark Tempuran, **h.** Lintang Waterpark Education, dan **i.** Pemandian Air Hangat Tirta Madu Barokah. [19]

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui pola kelurusan berada pada arah Barat Laut-Tenggara, begitu pula sesar yang ada berkorelasi dengan arah kelurusan yang ada. Nilai *FFD* pada kontur berada pada rentang 0.09 - 1.80 km/km² yang menunjukkan jika pada daerah penelitian, manifestasi panasbumi muncul pada tingkat kepadatan yang rendah. Oleh karena itu munculnya air panas tersebut tidak berkorelasi dengan nilai *Fault Fracture Density (FFD)* yang tinggi tetapi karena dipengaruhi oleh batuan yang menyusun pada formasi tersebut, sesar yang ada dan juga batuan penyusun pada formasi di dekat wilayah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan untuk memberikan kesempatan penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian maupun penulisan artikel ini. Penelitian ini dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih pada dosen pengampu mata kuliah geologi struktur dan Instansi terkait yaitu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. B. Hamilton, "Tectonics of the Indonesian region," *U.S. Geological Survey Professional Paper*, p. 1078, 1979.
- [2] H. W. Utama, "Petrologi dan struktur geologi daerah panas bumi Citando Banten," *Journal Online of Physics*, vol. 6, no. 1, pp. 32-37, 2020.
- [3] H. Helmi, H. Kurnaiawan and W. Adam, "Kontrol geologi terhadap pemunculan manifestasi panas bumi di kawasan GUNUNG LAWU," *KURVATEK*, vol. 5, no. 1, pp. 1-9, 2020.
- [4] F. Audi, A. D. Haryanto, J. Hutabarat and M. R. Pardamean, "Identifikasi zona prospek panas bumi menggunakan digital elevation model dengan metode densitas kelurusan dan temperatur suhu permukaan di daerah Seulawah, Provinsi Aceh," *Geoscience Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 80-90, 2021.
- [5] D. Arrofi, I. S. Abu-Mahfouz and S. D. Prayudi, "Investigating high permeable zone in non-vulcanic geothermal systems using lineament analysis and fault fracture density(FFD): northern Konawe Regency, Indonesia," *Geothermal Energy*, vol. 10, no. 29, pp. 1-17, 2022.
- [6] B. Kurnianto, "Identifikasi Prospek panasbumi Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density (FFD) lapangan panas bumi Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah," *Seminar Nasional Riset dan Inovasi Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 265-274, 2022.
- [7] Y. Z. Agung, A. D. Haryanto, H. Adi, D. L. Setiawan and W. A. Suleman, "High permeability zone on geothermal manifestations using fault fracture density in Sembalun Area, Lombok," *Journal of Geological Sciences Applied Geologi*, vol. 5, no. 2, pp. 24-30, 2021.
- [8] R. Tutu, S. Subaer and U. Usman, "Studi Analisis karakterisasi dan mikrostruktur mineral sedimen sumber air panas sululi di Kabupaten Pinrang," *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, vol. 11, no. 2, pp. 192-201, 2015.
- [9] A. Asrafil, A. Mukaddas and A. Listiyanti, "Investigasi kontrol struktur geologi pada manifestasi geothermal di daerah Lompio, Donggala, Sulawesi Tengah," *Jurnal GEOSAPTA*, vol. 8, no. 1, pp. 67-72, 2022.
- [10] H. Wibowo and H., "Application of fault and fracture density (ffd) method for geothermal exploration in non-vulcanic geothermal system: A case study in Sulawesi Indonesia," *Journal Geoplrika*, vol. 5, no. 1, pp. 27-37, 2010.
- [11] D. L. Siler, J. E. Faulds, N. H. Hinz, G. M. Dering, E. J. H and M. Brett, "Three-dimensional geologic mapping to assess geothermal potential: example from Nevada and Oregon," *Geotherm Energy*, vol. 7, no. 2, pp. 1-32, 2019.
- [12] W. Rahardjo, S. Rumidi dan R. HMD, "Peta geologi lembar Yogyakarta, Jawa," 2012. [Online].
- [13] A. Adi, A. D. Haryanto, J. Hutabarat and D. Gentana, "Analisis penginderaan jauh dan pemodelan 3d fault density (ffd) dalam penentuan zona permeabilitas permukaan di wilayah panas bumi Gunung Tampomas, Jawa Barat," *Buletin Sumber daya Geologi*, vol. 16, no. 2, pp. 99-118, 2021.
- [14] O. Kurniawan, R. D. Surya and G. Wargaliyasa, "Analisis fault fracture density pada potensi panas bumi non-vulkanik untuk menentukan recharge area; Studi kasus di wilayah Lore Lindu, Sulawesi Tengah," *Jurnal Ilmiah Geomatika*, vol. 2, no. 2, pp. 45-53, 2022.

Analisis Keberadaan Manifestasi Panas Bumi Menggunakan Fault Fracture Density (FFD) di Kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang (Salma Khoirunnisa1, Nugroho Budi Wibowo, Hana Rosyida, Icha Khaerunnisa, Dea Mutiara Jannah, Fathunajah Elsha C., Indar Mery S. A.)

- [15] R. Sasilani, D. A. Haryanto, J. Hutabarat, D. Hermawan and S. Widodo, "Zone of geothermal prospects base on faults fracture density (FFD) method in Sumani Region, West Sumatera," *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, vol. 3, no. 2, pp. 22-35, 2019.
- [16] B. I. Geopasial, "DEMNAS; Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional," 2018. [Online]. Available: <https://tanahair.indonesia.go.id/unduh-rbi/#/>.
- [17] Anika, Rokhmatuloh, and Supriatna, "Wilayah prospek panasbumi berdasarkan karakteristik fisika di Sesar Cimandiri, Jawa Barat," *Jurnal Geosains Terapan*, vol. 2, no. 3, pp. 14-32, 2016.
- [18] A. S. Maheswari, D. P. E. Putra, E. Handini, W. Wilopo and R. Susatio, "Karakteristik hidrokimia dan model konseptual sistem akuifer di Sumberarum, Tempuran, Magelang, Jawa Tengah," *Majalah Geografi Indonesia*, vol. 37, no. 2, pp. 138-146, 2023.
- [19] *Pemandian Air Hangat Tempuran, Magelang*. [Art]. Google Maps, 2023.
- [20] M. Isa, Zulfadhli, C. F. Thahul and D. P. Cesarian, "Geothermal distribution analysis of geureudong volcano based on satellite data and fault fracture density (FFD)," *Journal of Islamic Science and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 354-367, 2021.
- [21] B. Kurnianto, D. F. Yudiantoro and D. R. Ratnaningsih, "Identifikasi daerah prospek panasbumi berdasarkan analisis kelurusan dan fault fracture density (FFD) lapangan panas bumi Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang" *Jurnal Ilmiah Geologi Pangea*, vol. 8, no. 2, pp. 65-72, 2021.
- [22] L. Syarifah, A. B. Irawan and D. H. Santosos, "Pemanfaatan air panas bumi untuk terapi penyakit kullit di Desa Sumberarum, Kecamatan Tempuran, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian Ke-1111*, Yogyakarta, 2021.



©2024. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.