

ANALISIS MANIFESTASI PANAS BUMI MELALUI FAULT FRACTURE DENSITY (FFD) DI WILAYAH KAMOJANG, KECAMATAN SAMARANG, KABUPATEN GARUT

GEOHERMAL MANIFESTATION ANALYSIS THROUGH FAULT FRACTURE DENSITY (FFD) IN THE KAMOJANG REGION, SAMARANG DISTRICT, GARUT REGENCY

Muhammad Faza Syaddad Ar-Rafi^{1,*}, Nugroho Budi Wibowo^{1,2}, Riska Sorayawati¹, Siti Khusna¹,
Nikmatul Jannah¹

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

*Email corresponding: 22106020023@student.uin-suka.ac.id

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

²Email: nugrohobudiwibowo@gmail.com

Cara Sitasi: M. F. S. Ar-Rafi, N. B. Wibowo, R. Sorayawati, S. Khusna, dan N. Jannah "Analisis Manifestasi Panas Bumi Melalui Fault Fracture Density (FFD) di Wilayah Kamojang, Kecamatan Samarang, Kabupaten Garut", *Kurvatek*, vol. 10, no. 1, pp. 73-80, April 2025. doi: [10.33579/krvtk.v10i1.5571](https://doi.org/10.33579/krvtk.v10i1.5571) [Online].

Abstrak — Terletak di Cincin Api Pasifik, Indonesia memiliki potensi besar dalam energi panas bumi yang signifikan. Kamojang yang terletak di Kecamatan Samarang ialah salah satu daerah yang menunjukkan potensi ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keberadaan potensi geotermal di Kamojang melalui analisis kepadatan patahan menggunakan metode *Fault Fracture Density (FFD)*. Data yang digunakan berupa pola patahan dari *Model Elevasi Digital Nasional (DEMNAS)* yang kemudian dianalisis untuk menghitung densitas retakan dan disajikan dalam bentuk peta kontur. Nilai *FFD* yang dihasilkan berkisar antara -0,5 hingga 9,5 km/km². Hasil penelitian menunjukkan pola kelurusan di Kamojang sebagian besar mengarah Barat Laut – Tenggara yang terkait erat dengan pergerakan tektonik dan terbentuknya sesar aktif di kawasan tersebut. Meskipun nilai *FFD* di wilayah ini tergolong rendah, keberadaan sesar – sesar aktif tetap menyediakan jalur bagi pergerakan fluida panas bumi yang membentuk manifestasi panas bumi seperti kawah geotermal. Hasil ini memberikan gambaran penting untuk mendukung pengelolaan dan pengembangan energi panas bumi di wilayah Kamojang.

Kata Kunci: Energi Panas Bumi, *FFD*, Manifestasi Geotermal, Kamojang.

Abstract — Located on the Pacific Ring of Fire, Indonesia has great potential in significant geothermal energy. Kamojang, located in Samarang District, is one of the areas that show this potential. This study aims to assess the existence of geothermal potential in Kamojang through fault density analysis using the *Fault Fracture Density (FFD)* method. The data used are fault patterns from the *National Digital Elevation Model (DEMNAS)* which are then analyzed to calculate the density of cracks and presented in the form of contour maps. The resulting *FFD* values range from -0.5 to 9.5 km/km². The results show that the alignment pattern in Kamojang is mostly northwest - southeast, which is closely related to tectonic movements and the formation of active faults in the area. Although the *FFD* value in this area is relatively low, the presence of active faults still provides a pathway for the movement of geothermal fluids that form geothermal manifestations such as geothermal craters. These results provide important insights to support the management and development of geothermal energy in the Kamojang area.

Keywords: Geothermal Energy, *FFD*, Geothermal Manifestation, Kamojang.

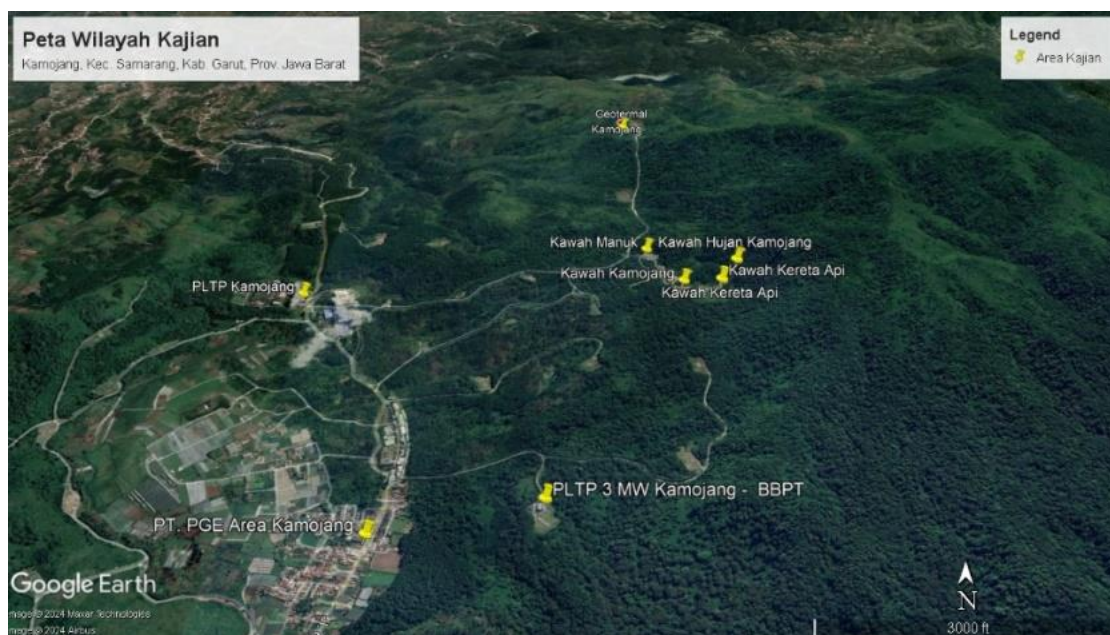
I. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang terletak di Cincin Api Pasifik, Indonesia memiliki potensi panas bumi yang signifikan, dibuktikan dengan 117 gunung berapi aktif yang ditemukan di beberapa pulau, termasuk Jawa,

Sumatra, Nusa Tenggara, Maluku, dan Sulawesi [1]. Indonesia diyakini memiliki sekitar 40% potensi panas bumi global, dengan total kapasitas energi sebesar 28.99 Giga Watt (GW) [2].

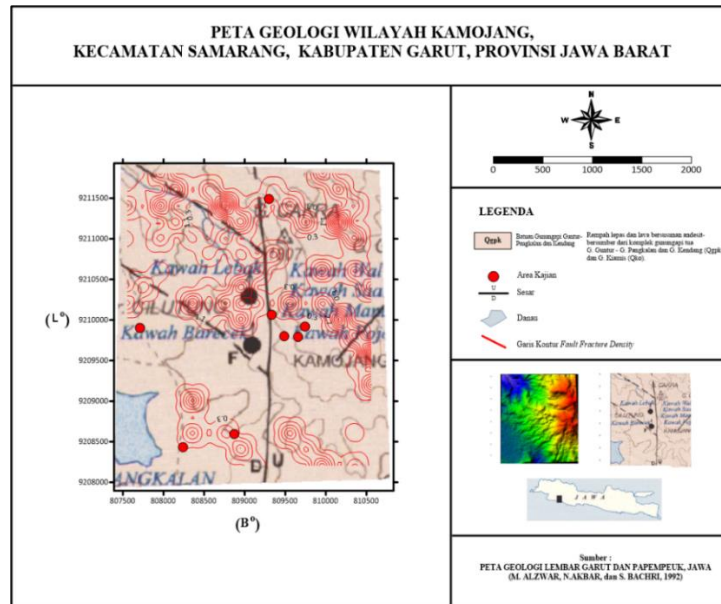
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), istilah “panas bumi” mengacu pada segala sesuatu yang berhubungan dengan panas yang berasal dari interior bumi. Kata “*geothermal*” sendiri berasal dari bahasa Yunani, dimana “*geo*” berarti bumi dan “*thermal*” berarti panas, yang dapat diartikan sebagai energi panas bumi. Energi tersebut ada dalam bentuk fluida panas bumi yaitu air dan dapat berupa uap, cairan, atau campuran keduanya [1]. Manifestasi permukaan merupakan fenomena alam yang muncul di atas permukaan bumi dan merupakan tanda awal adanya aktivitas panas bumi bawah tanah [3]. Sumber daya panas bumi dapat diidentifikasi melalui berbagai manifestasi di permukaan, seperti sumber air panas, kehangatan tanah, gas panas yang muncul dari dalam tanah (*fumarol*), lumpur panas, dan fenomena lain yang sejenis. Adanya fenomena panas bumi di permukaan bumi diduga disebabkan oleh penyebaran panas dari bawah permukaan bumi atau akibat adanya retakan yang memungkinkan fluida panas bumi (seperti uap dan air panas) mengalir hingga mencapai permukaan [5][6].

Salah satu wilayah di Indonesia yang terkenal dengan sumber daya panas bumi dan lokasi pengembangan panas bumi pertama di Indonesia adalah Desa Kamojan, Kecamatan Samalang, Kabupaten Garut, Jawa Barat, yang secara geografis terletak pada $07^{\circ}11'02'' - 7^{\circ}06'08''$ LU $107^{\circ}44'36'' - 107^{\circ}49'30''$ BT (gambar 1), perubahan ketinggian medan berkisar antara 1400 hingga 1800 meter di atas permukaan laut [7]. Desa Kamojan berada dalam Formasi Batuan Gunungapi Guntur Pangkalan dan Kendang yang memiliki jenis batuan Rempah lepas dan lava bersusunan andesit (Gambar 2). Kawasan ini sudah lama dikenal sebagai daerah dengan potensi panas bumi yang tinggi dengan adanya keberadaan beberapa kawah seperti Kawah Kamojan, Kawah Kereta Api, Kawah Hutan Kamojan dan Kawah Manuk. Salah satu bentuk pemanfaatan panas bumi di kawasan Kamojan adalah melalui pengoperasian PT Pertamina Geothermal Energy sejak tahun 1982. Hingga saat ini, perusahaan tersebut terus memproduksi listrik dari energi panas bumi dengan kapasitas sebesar 60 MW. Listrik yang dihasilkan disuplai dan didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah Jawa – bali [8].



Gambar 1. Peta wilayah kajian

Reservoir Kamojan dikendalikan oleh kontak formasi dan struktur geologi. Di bagian tengah (*Central Block*), *reservoir* lebih dipengaruhi oleh kontak formasi dan ketidakselarasan lateral, meskipun *rim structures* yang memisahkan Blok Tengah dan Barat juga memberikan pengaruh. Sementara itu, di Blok Timur, rangkaian patahan (*step of faults*) lebih dominan dalam mengontrol *reservoir* [9]. Struktur geologi yang berkembang di Kamojan memiliki pola distribusi Sesar Citepus (jenis dari Sesar Normal atau Sesar Geser) [10] dengan arah NE-SW dan NW-SE. Struktur berarah NW-SE dianggap lebih tua dibandingkan dengan struktur berarah NE-SW. Perpotongan kedua model ini membentuk zona geologi bawah tanah yang sangat lemah sehingga menyebabkan berbagai manifestasi panas bumi seperti fumarol, mata air panas, kolam lumpur, terak silika, dan lain-lain muncul di bagian utara blok timur Kawasan Panas Bumi Sungai Kamo [9][11].

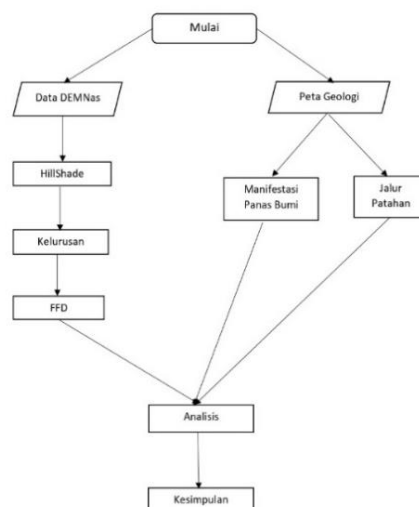


Gambar 2. Peta geologi wilayah kajian

Manifestasi panas bumi di Kamojang memiliki keterkaitan erat dengan struktur geologi setempat, khususnya sesar dan rekahan yang menjadi jalur utama migrasi fluida panas bumi. Untuk menganalisis pola distribusi geotermal, salah satu pendekatan yang efektif ialah menggunakan metode *Fault Fracture Density (FFD)* yang dapat mengidentifikasi jalur pergerakan fluida panas bumi melalui rekahan geologis. Metode ini menghitung kerapatan sesar dan rekahan di suatu wilayah, yang dapat berfungsi sebagai indikator keberadaan *reservoir* panas bumi [9][11]. Metode ini memiliki peran penting dalam tahap awal penelitian untuk memperoleh pemahaman mengenai hubungan antara struktur geologi dan distribusi manifestasi, sebelum melakukan observasi langsung di lapangan [12].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengaplikasikan teknik penginderaan jauh menggunakan data model elevasi digital (*DEMNAS*) dan analisis kepadatan patahan (*FFD*) berdasarkan kelurusan geologi. Garis kelurusan ditarik mengikuti pola relief permukaan dengan menggunakan perangkat lunak Global Mapper. Setiap kelurusan kemudian diukur panjangnya untuk memetakan jalur pergerakan fluida. Pola kelurusan ini dianggap sebagai indikasi daerah yang memiliki kemungkinan untuk menjadi jalur fluida yang berkaitan dengan zona yang mudah ditembus. Langkah – langkah dalam penelitian ini diilustrasikan melalui diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir metode penelitian

Analisis Manifestasi Panas Bumi Melalui Fault Fracture Density (FFD) Di Wilayah Kamojang, Kecamatan Samarang, Kabupaten Garut (Muhammad Faza Syaddad Ar-Rafi, Nugroho Budi Wibowo, Riska Sorayawati, Siti Khusna dan Nikmatul Jannah)

A. Analisa Pola DEM

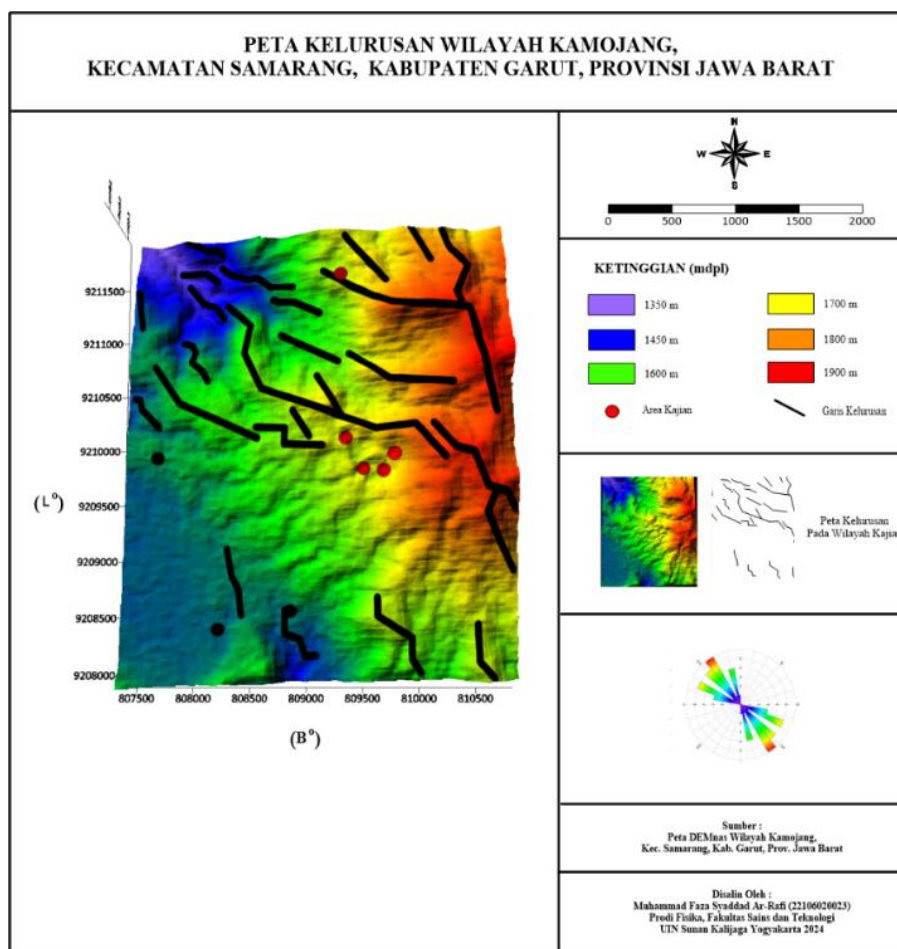
Analisis pola *Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)* merupakan teknik yang digunakan untuk memetakan dan mengkaji struktur geologi di suatu area. Analisis data *DEM* dilakukan untuk mengeksplorasi pola kelurusan yang berpotensi mengindikasikan aktivitas geologi di bawah permukaan [13]. Pada *rose diagram* (Gambar 5), terlihat bahwa kelurusan memiliki orientasi arah Barat Laut – Tenggara. Gaya tektonik dominan mempengaruhi proses geologi, menyebabkan pembentukan retakan dan patahan yang menjadi jalur fluida.

B. Analisis FFD

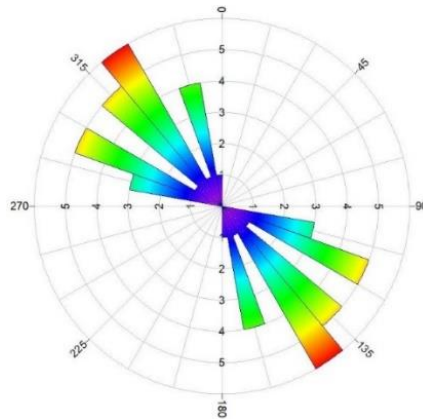
Fault Fracture Density (FFD) merupakan suatu pendekatan yang digunakan untuk mengestimasi permeabilitas sebuah area dengan mengamati tingkat kepadatan retakan atau patahan di dalamnya [14]. Pada penelitian ini, kepadatan kelurusan dihitung dalam grid $0.2 \times 0.2 \text{ km}^2$ untuk memperoleh gambaran rinci penyebarannya. Perhitungan dilakukan dengan membagi total panjang kelurusan dengan luas grid [14]. Hasilnya diolah menggunakan perangkat lunak Surfer untuk membuat peta kontur yang menunjukkan tingkat kepadatan kelurusan, dengan warna berbeda untuk tiap area. Area dengan kepadatan tinggi menunjukkan area yang lebih permeabel dan terkait dengan manifestasi panas bumi [15].

III. HASIL DAN DISKUSI

Proses untuk menganalisis indikasi panas bumi dengan metode *FFD* dimulai melalui pemetaan struktur patahan. Langkah pemetaan ini dilakukan dengan menganalisis peta *DEMNAS* untuk mengenali pola – pola geologis yang terbentuk. Penggambaran struktur patahan secara manual dapat dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak Global Mapper. Arah kelurusan wilayah kajian dominan mengarah ke Barat Laut – Tenggara, seperti pada gambar 5 merupakan *rose diagram* yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak Rockwork.

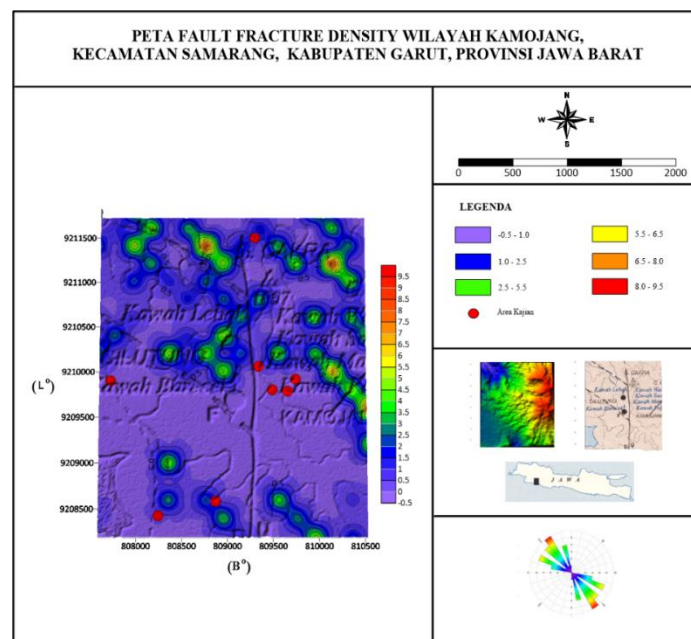


Gambar 4. Peta kelurusan wilayah kajian



Gambar 5. Rose diagram wilayah kajian

Proses pembagian area kajian dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS yang bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai densitas patahan dengan tingkat detail yang lebih tinggi. Setiap grid dihitung total panjang kelurusan yang ada di dalamnya. Nilai *FFD* yang diperoleh berkisar antara -0.5 – 9.5 km/km². Setelah nilai *FFD* pada setiap sel grid dihitung, data tersebut diproses menjadi peta kontur untuk menunjukkan tingkat kepadatan patahan, menggunakan perangkat lunak Surfer, dengan penambahan skala untuk menggambarkan variasi pada tiap area densitas.



Gambar 6. Peta *FFD* wilayah kajian

Analisis menunjukkan bahwa nilai *FFD* dikelompokkan ke dalam tiga kategori, sebagaimana ditampilkan pada tabel di bawah (Tabel 1).

Tabel 1. Pengelompokan Nilai *FFD*

Area	<i>FFD</i> (km/km ²)	Warna
Rendah	-0.5 – 1.0	Ungu
	1.0 – 2.5	Biru
	2.5 – 5.5	Hijau
Sedang	5.5 – 6.5	Kuning
	6.5 – 8.0	Oren
Tinggi	8.0 – 9.5	Merah

Wilayah kajian memiliki arah kelurusan dominan Barat Laut - Tenggara, yang terkait erat dengan pergerakan tektonik dan terbentuknya sesar aktif di kawasan tersebut. Meskipun nilai *FFD* di wilayah ini tergolong rendah, keberadaan sesar – sesar aktif tetap menyediakan jalur bagi pergerakan fluida panas bumi yang membentuk manifestasi panas bumi seperti kawah geotermal [16].

Keberadaan PLTP Kamojang, PLTP 3 MW Kamojang - BBPT, PT. PGE Area Kamojang, serta kawah – kawah geotermal seperti Kawah Kamojang dan Kawah Manuk, menunjukkan adanya potensi panas bumi yang besar. Kawah – kawah ini terbentuk karena fluida panas yang merambat melalui rekahan dan sesar, meskipun berada di area *FFD* rendah tetap berfungsi sebagai jalur fluida panas dari dalam bumi.



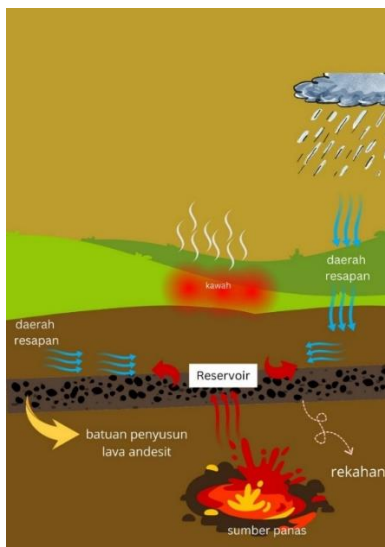
Gambar 7. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi: **a.** Kamojang Geothermal Power Plant Complex [17], **b.** PLTP 3 MW Kamojang – BBPT [18], **c.** PT. PGE Area Kamojang [19], **d.** PLTP Kamojang [20], Manifestasi Panas Bumi: **e.** Kawah Kamojang [21], **f.** Kawah Manuk [22].



Gambar 8. Manifestasi Panas Bumi: **g.** Kawah Hujan Kamojang [23], **h.** Kawah Kereta Api [24].

Manifestasi panas bumi di Kamojang dapat diinterpretasikan sebagai hasil interaksi antara aktivitas vulkanik dan struktur geologi di wilayah ini, dengan batuan penyusun seperti lava andesit yang memiliki konduktivitas panas yang baik. Rekahan dan sesar memungkinkan fluida panas naik ke permukaan, membentuk mata air panas dan kawah geotermal. Animasi pada Gambar 9 menggambarkan proses

munculnya panas bumi di Kamojang, memperlihatkan pergerakan fluida panas melalui sesar dan rekahan yang ada.



Gambar 9. Animasi munculnya panas bumi

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan manifestasi panas bumi di wilayah Kamojang menunjukkan bahwa nilai *Fault Fracture Density (FFD)* berkisar pada $-0.5 - 9.5 \text{ km/km}^2$. Wilayah dengan *FFD* rendah tetap memungkinkan pergerakan fluida panas bumi yang membentuk berbagai manifestasi geotermal, seperti kawah-kawah geotermal. Arah kelurusan dominan mengarah ke Barat Laut – Tenggara, disertai dengan interaksi antara sesar aktif dan aktivitas vulkanik berperan penting dalam mendistribusikan fluida panas bumi ke permukaan. Potensi panas bumi di Kamojang dapat dilihat dari keberadaan PLTP dan kawah geotermal, menunjukkan bahwa meskipun nilai *FFD* rendah, kawasan ini tetap memiliki potensi geotermal yang signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh entitas yang turut andil atas keberhasilan penelitian dan penyusunan artikel ini. Khususnya ditunjukkan kepada dosen pengampu mata kuliah Geologi Struktur, termasuk UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nasruddin, M. I. Alhamid, Y. Daud, A. Surachman, A. Sugiyono, H. B. Aditya, dan T. M. I. Mahlia, "Potential of geothermal energy for electricity generation in Indonesia: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 733-740, January 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.032>
- [2] M. Siahaan, A. Soebandrio, dan K. Wikantika, "Geothermal Potential Exploration using Remote Sensing Techniquw (Case Study: Patuha Area, West Java)", *Jakarta: Asia Geospatial Forum*, Oktober 2011.
- [3] Bujung, C. A. N. et al., "Identifikasi Prospek Panas Bumi Berdasarkan Fault and Fracture Density (FFD): Studi Kasus Gunung Patuha, Jawa Barat", *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, vol. 2, no. 1, pp. 67-75, 2011.
- [4] D. Santoso, *Eksplorasi Energi Geotermal*, Teknik Geofisika, Bandung: ITB, 2007.
- [5] Saptadji, *Teknik Panas Bumi*, Departemen Teknik Perminyakan, Bandung: ITB, 2003.
- [6] S. Jati, "Monitoring Lapangan Panas Bumi Kamojang Menggunakan Pengukuran Gravitasi Berulang", Skripsi Sarjana, Jurusan Fisika, Universitas Indonesia, 2009.
- [7] E. R. D. Balqis, K. Indriawati dan B. Lelono, "Optimasi Daya Listrik pada PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang, Jawa Barat", *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [8] Hendriansyah, et al, *Geophysical Model Update of the Kamojang Geothermal Field, Indonesia*, International Geothermal Association. [Online]. Available: www.geothermal-energy.org

Analisis Manifestasi Panas Bumi Melalui Fault Fracture Density (FFD) Di Wilayah Kamojang, Kecamatan Samarang, Kabupaten Garut (Muhammad Faza Syaddad Ar-Rafi, Nugroho Budi Wibowo, Riska Sorayawati, Siti Khusna dan Nikmatul Jannah)

- [9] A Shidqi, et al., “Zona Alterasi pada Sumur “Asj-17” Kaitannya dengan Keterdapatan Panas Bumi di Kamojang, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol .2, no. 4, 2012.
- [10] Adi, A., et al., "Analisis Penginderaan Jauh dan Pemodelan 3D Fault Fracture Density (FFD) di Wilayah Jawa Barat", *Buletin Sumber Daya Geologi*, vol. 16, no. 2, pp. 99-118, 2021.
- [11] R. Sasilani, A. D. Haryanto, J. Hutabarat, D. Hermawan, dan S. Widodo, “Zone of Geothermal Prospects Based on Fault Fracture Density (Ffd) Method in Sumani Region, West Sumatera”, *Journal of Geological Sciences and Applied Geology*, vol. 3, no. 2, pp. 22-35, 2019.
- [12] Srijono, et al., “Pemanfaatan Citra Digital Elevation Model (Dem) untuk Studi Evolusi Geomorfologi Gunung Api Merapi Sebelum dan Setelah Erupsi Gunung Api Merapi 2010”, *Seminar Nasional Informatika*, 2012. ISSN: 1979 – 2328.
- [13] Y. Iskandar, T. Yan, dan Hendarmawan, “Interpretasi Aliran Airtanah Menggunakan Metode Fault Fracture Density di Lereng Barat G. Talang, Solok, Sumatera Barat”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 321-327, 2018.
- [14] D. R. Putri, J. Hutabarat, dan A. D. Haryanto, “Zonasi Permeabilitas pada Area Manifestasi Panas Bumi di Daerah Kabupaten Buru, Provinsi Maluku”, *Padjadjaran Geoscience Journal*, vol. 5, no. 5, pp. 453-466, 2021.
- [15] S. Khoirunnisa, N. B. Wibowo, H. Rosyida, I. Khaerunnisa, D. M. Jannah, F. Elsha C., dan I. Mery S. A., “Analysis of The Existence of Geothermal Manifestations using Fault Fracture Density (Ffd) In Tempuran District, Magelang Regency”, *Journal Technology of Civil, Electrical, Mechanical, Geology, Mining, and Urban Design*, vol. 9, no. 1, pp. 63–72, April 2024.
- [16] Pertamina Geothermal Energy, “Kamojang Geothermal Power Plant Complex”, [Online]. Available: <https://www.pge.pertamina.com/Media/Uploads/wilayah-kerja/Operasi-Sendiri/kamojang.jpg> [Diakses: 14 Desember 2024].
- [17] Minergy News, “PLTP 3 MW Kamojang – BBPT”, [Online]. Available: <https://www.minergy-news.com/wp-content/uploads/2016/12/PGE.jpg> [Diakses: 14 Desember 2024].
- [18] Google Maps, “Gambar Lokasi”, [Online]. Available: https://lh5.googleusercontent.com/p/AF1QipO_zYEBzfxrDE36hqgzatbRR9Qr2_n3mcbi3NpC=w1080-k-no [Diakses: 14 Desember 2024].
- [19] Kompas. 2022, “PLTP Kamojang”, [Online]. Available: https://asset.kompas.com/crops/vAkH5Oad2dNFZxCjDtHmK0FDrYk=/101x0:818x478/750x500/d_ata/photo/2022/02/14/620950de60084.jpg [Diakses: 14 Desember 2024].
- [20] Pinhome, “Kawah Kamojang”, [Online]. Available: <https://www.pinhome.id/info-area/wp-content/uploads/2022/07/Capture-28.jpg> [Diakses: 14 Desember 2024].
- [21] Hargatiket.net., “Kawah Manuk”, [Online]. Available: <https://www.hargatiket.net/wp-content/uploads/2019/01/harga-tiket-masuk-kamojang-ecopark.jpg> [Diakses: 14 Desember 2024].
- [22] Google., “Kawah Hujan Kamojang”, [Online]. Available: https://www.google.com/search?gs_ssp=eJzj4tVP1zc0LMtOMs8rKzI2YLRsNagwSjWzSLi0MDAxMzJLNjA1tDKoSE1KNE8xSTa3ME1MMzE0NvISyU4sT8xQyCjNSsxTyE7MzQfS6QA4ABa-&q=kawah+hujan+kamojang [Diakses: 14 Desember 2024].
- [23] Viva.co.id., “Mengenal Kawah Kereta Api Kamojang: Tonggak Sejarah PLTP di Indonesia”, [Online]. Available: <https://www.viva.co.id/foto/1601486-mengenal-kawah-kereta-api-kamojang-tonggak-sejarah-pltp-di-indonesia> [Diakses: 14 Desember 2024].



©2025. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).