



Kontrol Struktur Geologi Terhadap Distribusi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Subang dan Sekitarnya, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat

Rastra Yandra Satya Nugraha^{1*}, Edy Sutriyono², Ugi Kurnia Gusti^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1254>

Article Info

Received: 13 July 2025

Revised: 02 November 2025

Accepted: 21 November 2025

Correspondence:

Phone:

Abstract: The influence of geological structures on the distribution of geothermal manifestations in the Subang area and its surroundings, Kuningan Regency, West Java Province, was assessed through an integrated approach combining lineament analysis based on Digital Elevation Model (DEM) imagery, fault and fracture density mapping, surface temperature analysis using Landsat 8 imagery, and surface geological surveys. The results indicate that three main hot spring points are closely associated with high-density fracture zones and active thrust fault systems. The primary geological structures controlling the system include the Ci Monte Fault and Situ Gede Fault, as well as the Ci Monte Syncline and Pamulihan Anticline, all trending east-west and formed due to compressive stress oriented north-south and northeast-southwest. These faults and fractures are strongly inferred to serve as migration pathways for hydrothermal fluids from the reservoir to the surface. The alignment of geothermal manifestations with geological structures highlights the critical role of active fractures and faults as the main controlling factors in the geothermal system. This conclusion underscores that geological structures function not only as natural permeable conduits but also as key indicators in geothermal exploration, especially in tectonically active regions.

Keywords: Subang, Geothermal Manifestations, pH, Temperature, Geological Structures.

Citation: Nugraha, R. Y. S., Sutriyono, E., & Gusti, U. K. (2025). Kontrol Struktur Geologi Terhadap Distribusi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Subang dan Sekitarnya, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat. *Journal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 2009-2020, 6(4), 2021-2029. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1254>

Pendahuluan

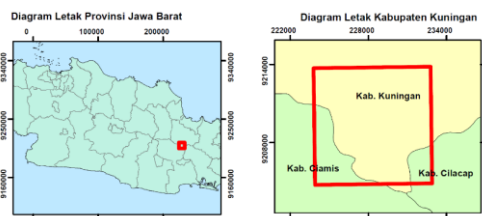
Indonesia merupakan salah satu negara yang berada pada jalur Ring of Fire, yaitu zona pegunungan api yang membentang melalui Pulau Sumatra, Pulau Jawa, Kepulauan Nusa Tenggara, Pulau Sulawesi, hingga Kepulauan Maluku. Keberadaan jalur gunungapi ini memberikan potensi besar dalam pengembangan energi panas bumi (Fauzi et al., 2015; Pambudi, 2018). Sistem panas bumi terbentuk apabila terdapat tiga komponen utama, yaitu sumber panas (heat source), batuan reservoir, dan batuan penudung (seal) (Bethke et al., 2005; Weydt et al., 2022). Fluida panas bumi dapat bergerak menuju permukaan melalui

rekahan atau zona lemah yang umumnya terbentuk akibat struktur geologi seperti sesar dan zona hancuran (Sumintadireja et al., 2014; Weydt et al., 2022). Pergerakan fluida panas ini sering menyebabkan perubahan sifat batuan yang dilewati (alterasi) dan berpotensi membentuk batuan penudung. Umumnya, lapangan panas bumi terbentuk di lingkungan busur vulkanik atau magmatik yang memiliki ruang magma di bawahnya sebagai sumber panas utama (Pambudi, 2018; Weydt et al., 2022).

Pulau Jawa memiliki potensi panas bumi yang signifikan akibat aktivitas konvergen antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia di wilayah selatannya. Salah satu manifestasi panas bumi yang

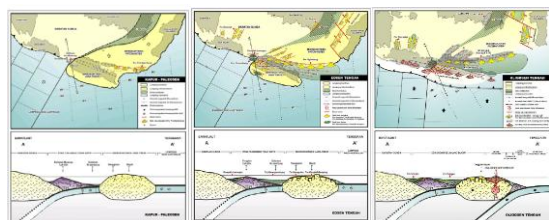
dimanfaatkan secara ekonomi adalah mata air panas di Subang, Kecamatan Subang, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat. Mata air panas ini telah menjadi destinasi wisata pemandian yang bermanfaat bagi masyarakat sekitar dan memiliki umur pemanfaatan yang panjang selama reservoir dan sumber panasnya masih mencukupi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi dan faktor-faktor geologi yang mengontrol kemunculan beberapa mata air panas di wilayah Subang.

Daerah penelitian berada di Kecamatan Subang, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat, yang secara administratif daerah penelitian berada di perbatasan antara dua kabupaten, yaitu Kabupaten Kuningan dan juga Kabupaten Cilacap. Berdasarkan letak geografis, daerah ini berada di koordinat 7°06'21"S 108°30'00"E dan 7°11'14"S 108°34'53"E, dengan luasan sebesar 9x9 km atau 81 km².



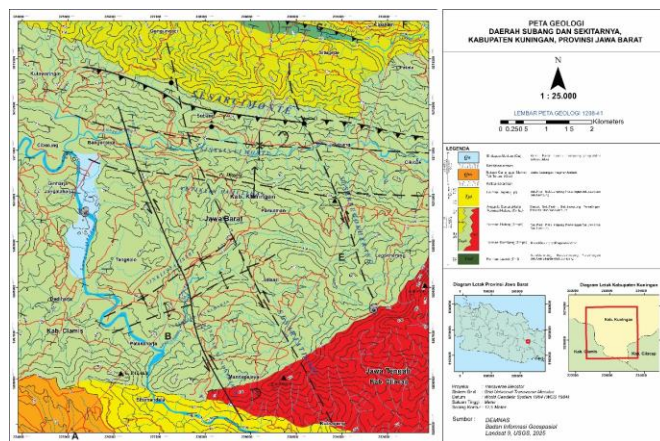
Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

Secara tektonik terletak di pulau utama Pulau Jawa. Pulau Jawa merupakan bagian selatan dari Paparan Sunda (*Sundaland*) yang terdiri atas batuan hasil interaksi margin konvergen lempeng sejak Zaman Kapur hingga sekarang. Proses ini disebabkan oleh subduksi Lempeng Hindia-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Pada periode Kapur, Paparan Sunda sebagai bagian tenggara dari Lempeng Eurasia mengalami konvergensi dengan Lempeng Pasifik. Akibat tumbukan ini, Lempeng Samudra menunjam di bawah Lempeng Benua, membentuk zona subduksi dengan sistem palung-busur aktif (*arc trench system*). Sistem ini menghasilkan tatanan tektonik utama, seperti palung (*trench*), busur luar non-vulkanik, cekungan depan busur (*fore-arc basin*), jalur magmatik (*magmatic arc*), cekungan belakang busur (*back-arc basin*), dan *Sunda Shelf* (Bishop, 2001)

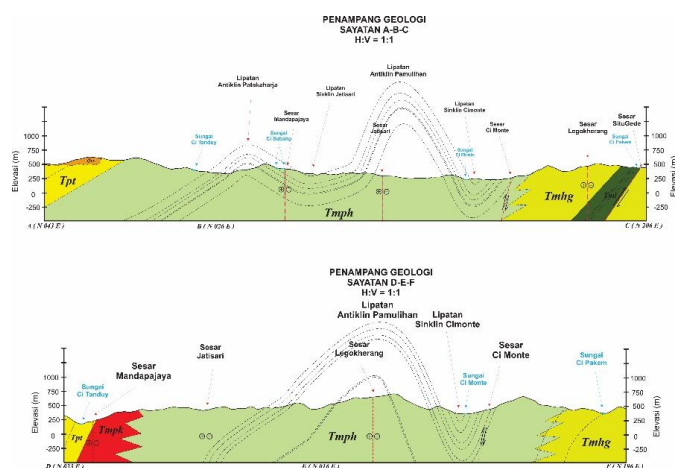


Gambar 2. Penampang Tektonik Pulau Jawa

Secara geologi wilayah penelitian berada dalam Cekungan Bogor Zona Antiklinorium Bogor. Zona Antiklinorium Bogor merupakan salah satu zona tektonik utama di bagian barat Pulau Jawa yang berperan penting dalam pembentukan geologi regional di wilayah penelitian, Mengacu pada Peta Geologi Lembar Majenang (Kastowo dan Suwarna, 1996), daerah penelitian memiliki urutan stratigrafi dari batuan tertua hingga batuan termuda terdiri dari Formasi Lawak (Tml), Formasi Kumbang (Tmpk), Formasi Halang (Tmph), Anggota Gunung Hurip Formasi Halang (Tmhg), Formasi Tapak (Tpt), Batuan Gunungapi Slamet Tak-Terurai (Qvs), Undak Sungai dan Endapan Aluvium (Qa).



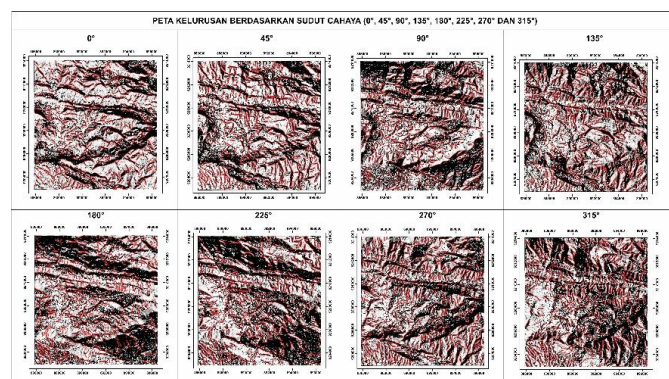
Gambar 3. Peta Geologi Daerah Subang dan Sekitarnya.



Gambar 4. Ilustrasi Model Penampang Sayatan Geologi A-B-C dan D-E-F Daerah Penelitian.

Perubahan posisi zona subduksi ke arah selatan Pulau Jawa membawa dampak signifikan terhadap tatanan geologi regional, khususnya di wilayah Jawa bagian barat. Salah satu kawasan yang terdampak adalah Cekungan Bogor. Pada awalnya, Cekungan Bogor berfungsi sebagai cekungan depan busur (*forearc basin*). Namun, seiring dengan pergeseran posisi subduksi selama Kala Oligosen hingga Miosen,

kawasan ini mengalami transformasi menjadi cekungan belakang busur (*backarc basin*) (Hall & Morley, 2004). Pergeseran ini tidak hanya mengubah lingkungan tektonik, tetapi juga memicu pembentukan struktur geologi baru, termasuk pola sesar dan zona rekahan yang kompleks. Aktivitas tektonik yang semakin intens pada Kala Pliosen hingga Pleistosen turut memperbesar dampak tersebut, mendorong jalur magmatik aktif yang saat ini masih dapat diamati di wilayah Jawa Barat, termasuk di sekitar Cekungan Bogor (Clements & Hall, 2007).



Gambar 5. Analisis kelurusan berdasarkan sudut prespektif cahaya dengan azimuth 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° dengan altitude 45°

Pulau Jawa merupakan hasil dari rangkaian panjang proses tektonik yang dipengaruhi oleh interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Pembentukan Pulau Jawa berawal dari aktivitas subduksi yang telah berlangsung sejak Mesozoikum, di mana Lempeng Indo-Australia menjam ke bawah Lempeng Eurasia dengan arah subduksi relatif ke utara hingga saat ini. Kecepatan pergerakan konvergen antara kedua lempeng ini diperkirakan berkisar antara 6 hingga 7 cm per tahun (Fauzi et al., 2015; Simandjuntak & Barber, 1996). Pada masa Eosen hingga Miosen, terjadi fase kolisi antara busur kepulauan dengan mikroblok kontinental yang kemudian memicu pembentukan jalur busur magmatik dan serangkaian cekungan sedimen di sepanjang Pulau Jawa (Hall & Morley, 2004). Proses kolisi ini dilanjutkan dengan subduksi yang berkelanjutan dan mendorong pembentukan sistem sesar serta aktivitas vulkanik intensif yang membentuk konfigurasi geologi Pulau Jawa seperti saat ini.

Secara stratigrafi, wilayah penelitian didominasi oleh Formasi Halang (Tmph) yang menutupi sekitar 60% area dan terdiri dari batupasir tufaan dan napal yang terbentuk dalam lingkungan laut dalam. Di sebelah utara, dijumpai Anggota Gunung Hurip dari Formasi Halang (Tmhg) yang menunjukkan fasies peralihan. Sementara itu, Formasi Lawak (Tml) juga tersebar di bagian tengah wilayah penelitian,

sedangkan Formasi Kumbang (Tmk) terletak di bagian tenggara. Formasi Tapak (Tpt) menempati bagian selatan wilayah penelitian dan menunjukkan karakteristik endapan kipas bawah laut. Di sisi barat daya, terdapat satuan batuan gunung api yang diasosiasikan dengan Gunung Slamet dan termasuk ke dalam satuan Gunungapi Slamet tak terurai (Qvs). Satuan termuda di wilayah penelitian adalah endapan aluvium (Qa) yang tersebar di dataran rendah dan lembah sungai.

Struktur geologi di wilayah penelitian menunjukkan pengaruh tektonik yang kuat, dengan ditemukannya sesar-sesar berarah timur-barat seperti Sesar Ci Monte yang merupakan sesar naik (*reverse fault*) dengan orientasi yang sejalan dengan pola lipatan di sekitarnya. Lipatan yang berkembang di wilayah ini di antaranya adalah Sinklin Ci Monte dan Antiklin Pamulihan yang juga berorientasi timur-barat. Selain itu, ditemukan sistem sesar mendatar (*strike-slip*) berarah tenggara-barat laut, di antaranya Sesar Mandapajaya, Sesar Jatisari, dan Sesar Legokherang, serta Lipatan lainnya seperti Sinklin Jatisari dan Antiklin Patakarharja berorientasi timur laut-barat daya, menunjukkan adanya pola deformasi yang kompleks akibat aktivitas tektonik berulang di wilayah penelitian. umumnya struktur ini merefleksikan pengaruh langsung dari gaya konvergen regional yang masih berlangsung hingga saat ini (Clements & Hall, 2007; Setyadi et al., 2020).

Pengaruh tektonik yang berkembang di wilayah ini tidak hanya mempengaruhi tatanan permukaan, tetapi juga memiliki konsekuensi yang lebih luas terhadap dinamika bawah permukaan, khususnya dalam mengaktifkan kembali sesar-sesar tua yang sebelumnya dianggap tidak aktif. Aktivasi ulang sesar ini menghasilkan rekahan-rekahan yang menjadi jalur utama migrasi fluida, baik dari sistem hidrotermal maupun dari tekanan fluida yang terperangkap pada kedalaman. Pergerakan blok sesar yang terus berlangsung memicu terbentuknya tekanan diferensial yang memfasilitasi perpindahan fluida secara vertikal melalui jalur-jalur rekahan tersebut. Hal ini teridentifikasi di wilayah penelitian, di mana rekahan yang berasosiasi dengan sesar-sesar aktif menyediakan jalur efektif bagi fluida panas bumi untuk menerobos ke permukaan. Proses migrasi fluida melalui sistem sesar dan rekahan ini berperan penting dalam pembentukan dan distribusi manifestasi panas bumi seperti mata air panas, alterasi hidrotermal, dan endapan silika di wilayah penelitian. Dengan demikian, aktivitas tektonik yang masih berlangsung tidak hanya membentuk pola deformasi regional, tetapi juga secara signifikan mengontrol sistem hidrotermal dan distribusi manifestasi panas bumi yang menjadi

fokus utama dalam penelitian ini (Hochstein, 2000; Setyadi et al., 2020).

Metode

Penelitian ini menggunakan beberapa metode yang saling terintegrasi untuk memperoleh data yang akurat dan mendalam. Tahap awal dilakukan Studi literatur untuk mengkaji teori dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan objek penelitian. Pendekatan kualitatif digunakan dengan menelaah berbagai sumber seperti buku, jurnal ilmiah, dan hasil tesis guna memperkuat dasar teoritis penelitian ini (Setyawan et al., 2022; Susilowati, 2020).

Tahap penginderaan jauh dilakukan untuk mengidentifikasi pola kelurusan bukit dan lembah yang mengindikasikan adanya struktur geologi regional. Data yang digunakan berupa *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) dengan resolusi 0,27 *arc-second* (~8 meter) yang diunduh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Selain itu, citra Landsat 8 diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8. Data DEMNAS kemudian diolah menjadi *diagram rose* dengan bantuan aplikasi *RockWorks* untuk mengetahui pola orientasi rekahan dan jurus sesar regional. Pola kelurusan ini juga digunakan untuk menginterpretasikan keberadaan zona kerusakan (*damage zone*) akibat aktivitas deformasi tektonik di wilayah penelitian (Emekwi et al., 2024; Hardiyanto et al., 2024; Pratama et al., 2023).

Analisis temperatur permukaan dan area sekitar danau dilakukan dengan memanfaatkan data inframerah Landsat 8 yang diolah menggunakan ArcGIS 10.3. Hasil olahan data ini disajikan dalam bentuk peta sebaran suhu permukaan untuk mengidentifikasi potensi anomali panas yang berkaitan dengan manifestasi panas bumi (Putra et al., 2021).

Interpretasi peta topografi menggunakan data *Digital Elevation Model* serta Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000 dari BIG. Selain itu, peta geologi skala 1:100.000 dari Pusat Survei Geologi (PSG) dijadikan acuan dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lapangan. Interpretasi kelurusan dan analisis struktur juga didukung oleh citra foto udara.

Hasil dan Pembahasan

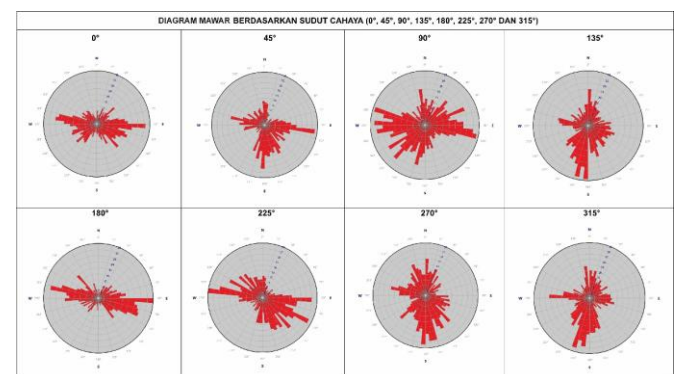
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi manifestasi panas bumi di wilayah penelitian memiliki keterkaitan erat dengan pola struktur geologi yang berkembang.

1. Analisis Kelurusan

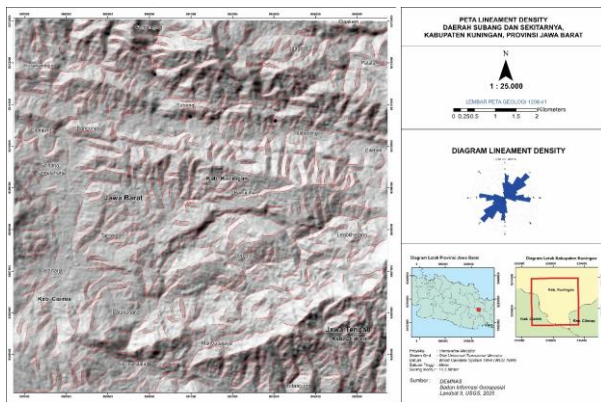
Berdasarkan Analisis kelurusan di wilayah penelitian dilakukan dengan memanfaatkan data *Digital Elevation Model* (DEM) beresolusi 8 meter yang

diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3, *PCI Geomatica*, dan *Rockwork* untuk memperoleh hasil visualisasi dan interpretasi yang akurat. Interpretasi kelurusan didasarkan pada hasil *overlay* citra DEM dengan citra *hillshade* yang disusun dengan variasi arah pencahayaan dari delapan sudut *azimuth*, yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°. Penggunaan berbagai sudut pencahayaan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan ketelitian identifikasi lineament serta mengurangi kemungkinan bias visual akibat keterbatasan sudut pandang tunggal. Dengan skala pemetaan 1:25.000, analisis ini menghasilkan data kelurusan yang memadai untuk menginterpretasikan pola struktur geologi regional (Emekwi et al., 2024; Manyoe & Hutagalung, 2022).

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi sudut pencahayaan menghasilkan pola kelurusan yang berbeda pada masing-masing *azimuth*. Pada sudut pencahayaan 0°, 45°, 90°, 180°, dan 225°, kelurusan dominan teridentifikasi dengan orientasi timur-barat. Sementara itu, pada pencahayaan *azimuth* 270° terlihat kelurusan yang dominan berarah barat laut-tenggara. Adapun pencahayaan dari arah 135° dan 315° menunjukkan kelurusan dominan berarah timur laut-barat daya. Hasil tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan *diagram rose* untuk mendeskripsikan pola distribusi dan orientasi kelurusan secara statistik. Diagram ini secara efektif menggambarkan arah dominan dan intensitas kelurusan yang terbentuk, yang merepresentasikan arah utama gaya tektonik yang bekerja di wilayah penelitian. Variasi hasil yang diperoleh dari perbedaan sudut pencahayaan menunjukkan pentingnya multi-perspektif dalam analisis morfostruktur berbasis DEM untuk meningkatkan keakuratan dalam menentukan arah dominan kelurusan yang mengontrol jalur rekahan dan sesar pada sistem panas bumi (Larasati et al., 2024; Rahayudin et al., 2020).



Gambar 6. Diagram Mawar Hasil Analisis Kelurusan Dengan Arah Perspektif Cahaya 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°.



Gambar 7. Peta Kelurusan daerah penelitian dengan kombinasi arah penyinaran dan diagram mawar dengan arah dominan Timur laut – Barat daya dan Timur – Barat.

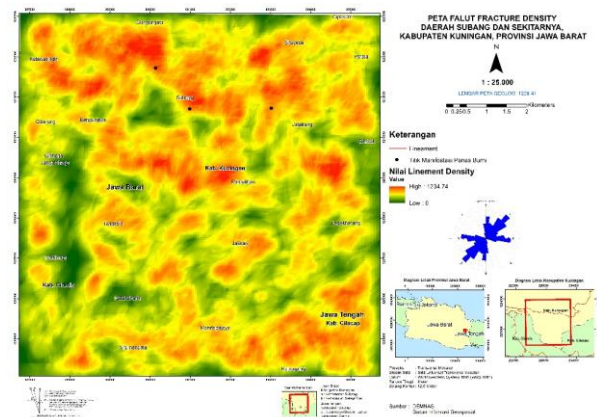
Hasil analisis kelurusan berbasis data *Digital Elevation Model* (DEM) dengan kombinasi delapan *azimuth* penyinaran menunjukkan bahwa arah kelurusan utama di wilayah penelitian secara konsisten dominan Timur laut – Barat daya dan Timur – Barat. (Gambar 7). Pola kelurusan dominan ini merupakan hasil determinasi dari analisis multi-perspektif pencahayaan yang meningkatkan ketelitian identifikasi *lineament*. Berdasarkan interpretasi visual, kelurusan timur-barat ini diperkirakan terbentuk akibat gaya kompresi yang berarah utara-selatan. Interpretasi ini sejalan dengan prinsip *wrench fault system* atau sistem sesar mendatar miring (*oblique slip*) yang dikemukakan oleh (MOODY & HILL, 1956), di mana gaya kompresi lateral menghasilkan sesar-sesar berarah dominan tegak lurus terhadap arah gaya utama. Di Pulau Jawa, sistem sesar yang berasosiasi dengan pola ini umumnya dikendalikan oleh Baribis-Kendeng *fault system* yang dikenal mempengaruhi pola deformasi regional dan pembentukan struktur geologi di Jawa bagian tengah dan barat (Aribowo et al., 2022; Clements & Hall, 2007; Kuncoro et al., 2019).

Kelurusan utama yang teridentifikasi di wilayah penelitian berhubungan erat dengan keberadaan struktur sesar naik (*reverse fault*) Cimonte serta dua lipatan regional yaitu Sinklin Cimonte dan Antiklin Pamulihan. Kedua lipatan tersebut berkembang dengan orientasi yang sejalan dengan pola kelurusan utama dan diduga terbentuk sebagai respon terhadap gaya kompresi regional yang masih aktif. Analisis kelurusan ini tidak hanya mengungkap pola deformasi regional, tetapi juga mengindikasikan potensi terbentuknya rekahan-rekahan yang berfungsi sebagai *play zone* dalam sistem panas bumi. Rekahan-rekahan ini berperan penting sebagai jalur migrasi fluida dan zona permeabel yang dapat mengontrol akumulasi dan distribusi manifestasi panas bumi di wilayah penelitian

(Fauzi et al., 2015; Iswahyudi et al., 2019; Setyadi et al., 2020)

2. Peta Fault Fracture Density

Hal ini diperkuat oleh hasil analisis *fault and fracture density* (FFD) yang menunjukkan nilai densitas patahan dan rekahan yang tinggi pada area yang berdekatan dengan manifestasi permukaan. Berdasarkan hasil analisis kelurusan dengan menggunakan kombinasi delapan perspektif penyinaran, telah dikembangkan peta *Fault Fracture Density* (FFD) untuk daerah Subang dan sekitarnya (Gambar 8). Peta ini dibuat dengan memanfaatkan data *Digital Elevation Model* (DEM) yang diolah menggunakan perangkat lunak *ArcGIS 10.8*. Peta FFD secara efektif menggambarkan zonasi kepadatan rekahan dan patahan di wilayah penelitian, dengan gradasi warna yang merepresentasikan tingkat densitas rekahan, mulai dari hijau sebagai zona kepadatan rendah hingga merah sebagai zona kepadatan tinggi. Pola sebaran densitas rekahan ini memvisualisasikan area-area yang berpotensi menjadi jalur permeabel bagi fluida hidrotermal.



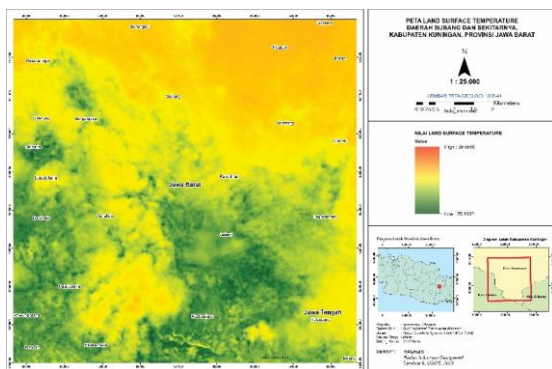
Gambar 8. Peta fault fracture density daerah subang dengan densitas tinggi ke rendah digambarkan oleh warna merah hingga hijau.

Interpretasi peta menunjukkan bahwa zona dengan densitas rekahan tinggi umumnya berasosiasi dengan keberadaan manifestasi panas bumi di permukaan, seperti mata air panas. Keterkaitan ini mengindikasikan bahwa jalur-jalur rekahan dengan kepadatan tinggi berperan penting dalam memfasilitasi migrasi fluida dari kedalaman menuju permukaan. Zona-zona tersebut dapat diidentifikasi sebagai area prospektif dalam pengembangan sistem panas bumi. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa kontrol struktural, khususnya kepadatan sesar dan rekahan, menjadi faktor dominan dalam distribusi manifestasi panas bumi di wilayah Subang dan sekitarnya. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa area dengan nilai *lineament density* tinggi sering berhubungan dengan potensi

panas bumi dan jalur fluida aktif (Marliyani et al., 2016; Raharjo et al., 2019; Fauzi et al., 2020).

3. Analisis Suhu Permukaan

Analisis suhu permukaan (*Land Surface Temperature/LST*) di wilayah Subang dan sekitarnya dilakukan menggunakan data citra satelit Landsat 8 yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) dengan resolusi spasial yang sesuai untuk studi geotermal regional. Peta LST yang dihasilkan menggambarkan sebaran suhu permukaan dengan gradasi warna dari hijau hingga merah, di mana suhu terendah sebesar 25,16°C direpresentasikan oleh warna hijau dan suhu tertinggi sebesar 39,55°C ditunjukkan dengan warna merah (Gambar 9). Sebaran suhu yang teridentifikasi pada peta menunjukkan adanya pola anomali suhu yang tersebar tidak merata di wilayah penelitian. Zona-zona dengan suhu relatif tinggi terdistribusi pada area tertentu yang secara spasial beririsan dengan jalur-jalur sesar dan rekahan yang telah diidentifikasi sebelumnya melalui analisis kelurusan dan *Fault Fracture Density* (FFD).



Gambar 9. Peta Land Surface Temperature Daerah Subang dengan densitas tinggi ke rendah digambarkan oleh warna merah hingga hijau

4. Survei Lapangan

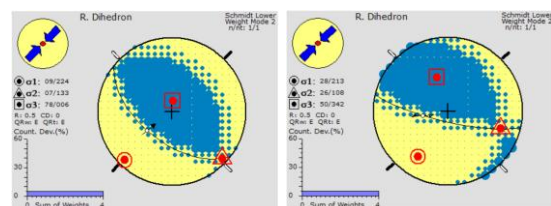
Survei geologi permukaan yang dilakukan secara detail di sepanjang jalur indikasi sesar, yang sebelumnya teridentifikasi melalui analisis peta Digital Elevation Model (DEM) dan peta lineament di sekitar Kecamatan Subang, berhasil mengonfirmasi keberadaan beberapa titik manifestasi air panas yang signifikan serta struktur geologi yang aktif. Survei lapangan ini mengidentifikasi tiga titik manifestasi utama yang dinamakan Air Panas Subang 1 (APS-1), Air Panas Subang 2 (APS-2), dan Air Panas Subang 3 (APS-3). Berdasarkan hasil pengukuran, AP-1 menunjukkan suhu sebesar 57,3°C dengan pH netral, sedangkan AP-2 memiliki suhu sebesar 32°C juga dengan pH netral. Sementara itu, AP-3 memiliki suhu sekitar 40°C dengan pH yang cenderung netral, sebagaimana disajikan dalam (Tabel 1).

Tabel 1. Manifestasi panas bumi pada daerah penelitian.

No	Jenis	Manifestasi	Temperatur	pH
1	Air Panas Subang 1	Air Panas	57.3°C	7.96
2	Air Panas Subang 2	Air Panas	34°C	7.69
3	Air Panas Subang 3	Air Panas	40°C	8.02

Ketiga titik manifestasi tersebut terdistribusi pada area dengan kepadatan rekahan dan patahan yang tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil analisis densitas kelurusan (*lineament density*) pada daerah penelitian. Korelasi spasial antara manifestasi air panas dan zona rekahan memperkuat interpretasi bahwa sistem sesar dan rekahan berfungsi sebagai jalur utama migrasi fluida hidrotermal dari reservoir ke permukaan. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa jalur sesar dan rekahan dengan permeabilitas tinggi berperan penting dalam pembentukan sistem panas bumi, serta berasosiasi erat dengan kemunculan manifestasi geotermal (Iswahyudi et al., 2019; Larasati et al., 2024; Pamungkas, 2019; Rauf et al., 2023).

Selain mengidentifikasi manifestasi panas bumi, hasil survei geologi permukaan di wilayah penelitian juga berhasil mendokumentasikan keberadaan dua struktur sesar signifikan yang berperan dalam mengontrol jalur migrasi fluida hidrotermal. Struktur sesar pertama diinterpretasikan sebagai sesar naik dengan karakteristik *Vertical Dip-Slip Fault* menurut klasifikasi (Fossen, 2010) dan *Left Reverse Slip Fault* berdasarkan deskripsi (RICKARD, 1972). Sesar kedua juga diklasifikasikan sebagai sesar naik dengan tipe *Vertical Dip-Slip Fault* (Fossen, 2010) serta dikategorikan sebagai *Reverse Slip Fault* menurut (RICKARD, 1972). Keberadaan kedua sesar naik ini menunjukkan bahwa sistem deformasi di wilayah penelitian didominasi oleh komponen pergerakan vertikal akibat gaya kompresi yang signifikan. (Ramadhan et al., 2019; Rio Hanzra Adjie Pamungkas & Edy Sutriyono, 2024).

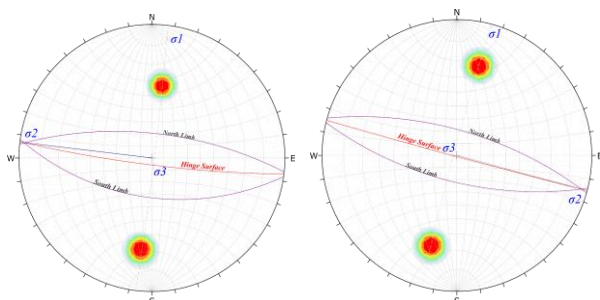


Gambar 10. Hasil Analisis Sesar SituGede (kiri), Sesar Ci Monte (kanan) dengan Proyeksi R.Dihedron

Tabel 2. Hasil Analisa Stereografi Sesar di daerah penelitian.

Jenis	Data	Hasil R.Dihedron
1 Sesar SituGede	Bidang sesar : N 128°E/56°SW	(σ_1) : 09°, N 224°E
	Netslip : 55°, N 230°E	(σ_2) : 07°, N 133°E
	Pitch : 82°	(σ_3) : 78°, N 006°E
2 Sesar Ci Monte	Bidang sesar : N 103°E/78°NE	(σ_1) : 28°, N 213°E
	Netslip : 62°, N 260°E	(σ_2) : 26°, N 108°E
	Pitch : 64°	(σ_3) : 50°, N 342°E

Di samping struktur sesar, hasil pengolahan data orientasi lapangan dengan analisis stereonet mengidentifikasi keberadaan lipatan berupa sinklin dan antiklin yang terletak di sekitar jalur manifestasi panas bumi. Berdasarkan interpretasi stereografis, lipatan-lipatan ini diklasifikasikan sebagai *Upright Horizontal Fold*, yaitu lipatan tegak dengan sumbu lipatan horizontal, sebagaimana dijelaskan oleh (Fleuty, 1964; Fossen, 2010). Keberadaan lipatan ini memperkuat indikasi bahwa wilayah penelitian mengalami deformasi intensif akibat gaya kompresi regional. seperti yang diilustrasikan pada (Gambar 11)



Gambar 11 Hasil Analisis Antiklin Pamulihan (kiri), Sinklin Ci Monte (kanan) dengan Model Proyeksi Stereografis

Pola orientasi struktur yang didominasi oleh arah timur-barat diinterpretasikan terbentuk sebagai hasil dari gaya kompresi yang berarah utara-selatan, yang konsisten dengan sejarah tektonik Pulau Jawa. Pola ini juga sejalan dengan model deformasi yang terjadi pada jalur busur belakang di Jawa bagian barat yang dikontrol oleh sistem gaya konvergen regional.

Temuan ini mendukung interpretasi bahwa sistem panas bumi di wilayah penelitian sangat dipengaruhi oleh kontrol struktur geologi aktif, khususnya sesar naik dan lipatan, yang berfungsi sebagai jalur preferensial migrasi fluida panas menuju permukaan (Clements & Hall, 2007; Fauzi et al., 2015; Hall & Morley, 2004). Struktur geologi seperti ini telah terbukti

menjadi pengontrol utama dalam sistem panas bumi di berbagai wilayah, di mana keberadaan sesar naik dan rekahan aktif secara signifikan meningkatkan permeabilitas batuan dan memfasilitasi keluarnya fluida panas bumi (Iqbal & Juliarka, 2020; Saepuloh et al., 2018)

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi manifestasi panas bumi di daerah Subang dan sekitarnya secara signifikan dikontrol oleh struktur geologi aktif, khususnya sesar naik dan lipatan berorientasi timur-barat. Hasil analisis kelurusan, peta densitas rekahan (fault fracture density), peta suhu permukaan, serta survei lapangan, secara konsisten mengindikasikan bahwa zona-zona dengan densitas rekahan tinggi dan keberadaan sesar aktif berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal dari kedalaman menuju permukaan. Migrasi fluida ini memicu terbentuknya manifestasi permukaan berupa mata air panas dengan karakter suhu dan pH netral yang sesuai dengan sistem panas bumi bertemperatur menengah. Keberadaan lipatan seperti Sinklin Ci Monte dan Antiklin Pamulihan, serta struktur sesar seperti Sesar Ci Monte dan Sesar Situ Gede, memperkuat pemahaman bahwa gaya tektonik kompresi berarah utara-selatan memainkan peran dominan dalam deformasi wilayah. Temuan ini mendukung model bahwa sistem panas bumi tidak hanya bergantung pada kondisi litologi dan sumber panas, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh jaringan struktur geologi yang menyediakan jalur permeabel untuk pergerakan fluida. Oleh karena itu, pemahaman terhadap kontrol struktural sangat penting dalam eksplorasi dan pengembangan energi panas bumi di wilayah ini maupun di daerah dengan karakteristik tektonik serupa.

Daftar Pustaka

Aribowo, S., Husson, L., Natawidjaja, D. H., Authemayou, C., Daryono, M. R., Puji, A. R., Valla, P. G., Pamumpuni, A., Wardhana, D. D., de Gelder, G., Djarwadi, D., & Lorcery, M. (2022). Active Back-Arc Thrust in North West Java, Indonesia. *Tectonics*, 41(7), e2021TC007120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021TC007120>

Bethke, P. M., Rye, R. O., Stoffregen, R. E., & Vikre, P. G. (2005). Evolution of the magmatic-hydrothermal acid-sulfate system at Summitville, Colorado: Integration of geological, stable-isotope, and fluid-inclusion evidence. *Chemical Geology*, 215(1-4 SPEC. ISS.), 281-315.

- <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.041>
- Bishop, M. G. (2001). South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. *USGS Open File Report*, 99-50-S, 22.
- Clements, B., & Hall, R. (2007). *Cretaceous to Late Miocene stratigraphic and tectonic evolution of West Java*.
- Emekwi, P. L., Mariita, N. O., & Kariuki, P. C. (2024). Structural Controls Analysis and Its Correlation with Geothermal Occurrence at Barrier Volcanic Complex (BVC), Turkana, Kenya. *International Journal of Geosciences*, 15(03), 231–245. <https://doi.org/10.4236/ijg.2024.153014>
- Fauzi, A., Permana, H., Indarto, S., & Gaffar, E. Z. (2015). Regional structure control on geothermal systems in West Java, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2015, April*, 19–25. https://www.academia.edu/19678453/Regional_Structure_Control_on_Geothermal_Systems_in_West_Java_Indonesia
- Fleuty, M. J. (1964). The description of folds. *Proceedings of the Geologists' Association*, 75(4), 461–492. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(64\)80023-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0016-7878(64)80023-7)
- Fossen, H. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511777806>
- Hall, R., & Morley, C. K. (2004). Sundaland basins. *Continent-Ocean Interactions within East Asian Marginal Seas*, 149, 55–85.
- Hardiyanto, D. W., Setianto, A., & Harijoko, A. (2024). Spatial Analysis to Determine the Geothermal Potential Index: The Case Study of Dieng Geothermal Complex. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 5(2), 81–90. <https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.293>
- Hochstein, M. (2000). *Surface manifestations of geothermal systems with volcanic heat sources*. Academic Press, USA.
- Iqbal, M., & Juliarka, B. (2020). Identification of Permeability Level by using Fault Fracture Density Analysis and Landsat 8 OLI at Ulubelu Geothermal Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537, 12016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012016>
- Iswahyudi, S., Pamungkas, M. A., Sunan, H. L., & Aditama, M. R. (2019). Kontrol Struktur Geologi Pada Kemunculan Mata Air Panas Bumi Daerah Subang, Jawa Barat. *Jurnal Geosaintek*, 5(3), 113–118.
- Kuncoro, H., Meilano, I., & Susilo, S. (2019). Sunda and sumatra block motion in itr2008. *E3S Web of Conferences*, 94, 4–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199404006>
- Larasati, T., Ivana, J., Oktaviani, A. D., Fadhillah, F. R., Sahdarani, D. N., & Rani, T. (2024). *Revisiting Galunggung Geothermal Field through geoscience perspective*. 2491, 1–7.
- Manyoe, I. N., & Hutagalung, R. (2022). The extraction and analysis of lineament density from digital elevation model (dem) in libungo geothermal area, gorontalo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1089(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1089/1/012012>
- MOODY, J. D., & HILL, M. J. (1956). WRENCH-FAULT TECTONICS. *GSA Bulletin*, 67(9), 1207–1246. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[1207:WT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[1207:WT]2.0.CO;2)
- Pambudi, N. A. (2018). Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status, future development and policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2893–2901. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.096>
- Pamungkas, M. A. (2019). *Karakteristik Manifestasi Panas Bumi Berdasarkan Data Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Subang, Kecamatan Subang, Kabupaten Kuningan, Provinsi Jawa Barat*.
- Pratama, R. A., Kusumayudha, S. B., & Suharyadi. (2023). Structural Control on Geothermal Surface Manifestations in Dieng Geothermal Field Based on Remote Sensing and Field Data. *Indonesian Journal of Geology*, 18(1), 15–26.
- Putra, D. R., Harsolumakso, A. H., & Sudrajat, A. (2021). Surface Temperature Mapping Using Remote Sensing and GIS for Geothermal Potential Zones. *Jurnal Geosains*, 17(2), 101–110.
- Rahayudin, Y., Kashiwaya, K., Tada, Y., Koike, K., Iskandar, I., & Susmanto, A. (2020). *Characterizing geothermal system of the Tampomas area, West Java, Indonesia by water chemistry and stable isotope analyses*.
- Ramadhan, T., Indah Purnamawati, D., Frilian Budi, R., & Satya Permana, Y. (2019). *Analysis of Kinematic and Characteristics Waled Thrust Fault, West Java*:

- Transport Tectonic of Bogor Zone*. 2005(1), 1–10.
- Rauf, J., Kayambo, M. R., Nurjana, I., & Manyoe, I. N. (2023). Lineament Extraction Analysis Using Digital Elevation Model (DEM) in Lahendong Geothermal Area, North Sulawesi. *E3S Web Conf.*, 400.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340001009>
- RICKARD, M. J. (1972). Fault Classification: Discussion. *GSA Bulletin*, 83(8), 2545–2546.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1972\)83\[2545:FCD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[2545:FCD]2.0.CO;2)
- Rio Hanzra Adjie Pamungkas, & Edy Sutriyono. (2024). Recognizing Synrift and Postrift Structures on Rock Exposures in The Tanjung Aur II Region, South Bengkulu, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 9(04), 444–452.
<https://doi.org/10.25299/jgeet.2024.9.04.14528>
- Saepuloh, A., Haeruddin, H., Heriawan, M. N., Kubo, T., Koike, K., & Malik, D. (2018). Application of lineament density extracted from dual orbit of synthetic aperture radar (SAR) images to detecting fluids paths in the Wayang Windu geothermal field (West Java, Indonesia). *Geothermics*, 72, 145–155.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2017.11.010>
- Setyadi, B., Wibowo, H., & Meidyawati, R. (2020). Structural Control of Geothermal System in the Subang Area, West Java, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 5(2), 150–157.
- Simandjuntak, T. O., & Barber, A. J. (1996). Collision tectonics in the evolution of the Indonesian region. *Geological Society Special Publication*, 106(1), 1–12.
- Sumintadireja, P., Saepuloh, A., Irawan, D. E., Irawan, D., & Fadillah, A. (2014). *Geological interpretation of Mount Ciremai geothermal system from remote sensing and magneto telluric analysis*.
- Weydt, L. M., Lucci, F., Lacinska, A., Scheuven, D., Carrasco-Núñez, G., Giordano, G., Rochelle, C. A., Schmidt, S., Bär, K., & Sass, I. (2022). The impact of hydrothermal alteration on the physiochemical characteristics of reservoir rocks: the case of the Los Humeros geothermal field (Mexico). *Geothermal Energy*, 10(1), 20.
<https://doi.org/10.1186/s40517-022-00231-5>