

**DELINEASI SEBARAN SESAR DI SEGMENT CIHIDEUNG,
SESAR LEMBANG BERDASARKAN
METODE *FAULT FRACTURE DENSITY* (FFD)**

Tristin Yosefa¹, Supriyadi², M. Syirojudin³, Yosi Setiawan⁴
Universitas Negeri Semarang^{1,2}, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan
Geofisika^{3,4}
tristin_24@students.unnes.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendelineasi sebaran sesar dan rekahan pada Segment Cihideung menggunakan metode *Fault Fracture Density* (FFD) berbasis data topografi resolusi tinggi LiDAR BMKG tahun 2024. Data *Digital Elevation Model* (DEM) LiDAR diolah menjadi citra *hillshade* multi-azimuth, kemudian dilakukan interpretasi visual terhadap kelurusan morfologi yang didigitasi dalam bentuk *polyline*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kerapatan panjang kelurusan pada grid tertentu untuk menghasilkan peta FFD sebagai dasar identifikasi zona deformasi struktural. Hasil penelitian menunjukkan adanya beberapa zona dengan densitas kelurusan tinggi yang mengikuti jalur utama Sesar Lembang beserta cabang-cabangnya, terutama di wilayah Cihanjuang Rahayu, Cigugur Girang, Gudangkahuripan, dan Pagerwangi. Zona-zona tersebut diinterpretasikan sebagai area dengan tingkat deformasi paling intensif sehingga memiliki implikasi penting terhadap perencanaan tata ruang, mitigasi bahaya gempa bumi, dan potensi gerakan tanah di wilayah penelitian.

Kata Kunci: LiDAR, Identifikasi Sesar, *Lineament*, Geomorfologi Tektonik, Drone, Model Elevasi Digital.

ABSTRACT

This study aimed to delineate the distribution of faults and fractures in the Cihideung Segment using the Fault Fracture Density (FFD) method based on high-resolution LiDAR topographic data from BMKG in 2024. The LiDAR-based Digital Elevation Model (DEM) data were processed into multi-azimuth hillshade images, followed by visual interpretation of morphological lineaments digitized as polylines. The density of lineament lengths was then calculated within specific grid units to generate an FFD map for identifying structural deformation zones. The results indicate several zones with high lineament density that follow the main trace of the Lembang Fault and its associated branches, particularly around Cihanjuang Rahayu, Cigugur Girang, Gudangkahuripan, and Pagerwangi. These zones are interpreted as areas experiencing the most intensive deformation and therefore

have important implications for spatial planning, earthquake hazard mitigation, and landslide risk management in the study area.

Keywords: *LiDAR, Fault Identification, Lineament, Tectonic Geomorphology, Drone, Digital Elevation Model*

PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia karena terletak pada zona pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Interaksi ketiga lempeng tersebut membentuk banyak sistem sesar aktif yang tersebar dari Sumatra hingga Papua, dengan wilayah Indonesia bagian barat dan tengah sebagai daerah yang memiliki tingkat aktivitas kegempaan sangat tinggi (Irsyam et al., 2020).

Dalam konteks tersebut, Sesar Lembang di Jawa Barat merupakan salah satu sumber bahaya seismik utama, terutama bagi wilayah padat penduduk seperti Kota Bandung dan kabupaten/kota di sekitarnya. Sesar Lembang memanjang sekitar 29 km dengan orientasi dominan barat–timur di sepanjang batas utara Cekungan Bandung (Daryono et al., 2019). Kajian geologi mengklasifikasikan struktur ini sebagai sesar geser mendatar mengiri (*sinistral strike-slip fault*) dengan komponen miring (*oblique slip*) yang terbentuk akibat aktivitas tektonik Plio-Kuarter pada zona transisi antara Blok Sunda dan Cekungan Bandung.

Studi geodetik dan interferometri satelit menunjukkan bahwa sesar ini masih aktif dengan laju pergeseran berkisar antara 1,9–6,0 mm per tahun, yang mengindikasikan adanya akumulasi tegangan dan potensi gempa yang signifikan. Kajian paleoseismik memperkirakan interval ulang gempa besar berkisar antara 170–670 tahun dengan potensi magnitudo mencapai Mw 6,5–7,0. Gempa dengan karakteristik tersebut berpotensi menimbulkan risiko besar terhadap penduduk maupun infrastruktur di wilayah sekitarnya.

Identifikasi jalur sesar secara akurat menjadi aspek fundamental dalam penilaian risiko seismik dan perencanaan tata ruang wilayah. Metode konvensional yang mengandalkan survei lapangan, fotografi udara, dan citra satelit beresolusi rendah sering kali belum mampu mendeteksi fitur geomorfologi halus yang mengindikasikan aktivitas sesar, khususnya pada daerah dengan tutupan vegetasi lebat atau wilayah yang telah mengalami modifikasi akibat aktivitas manusia (Paoletti, 2024).

Teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) telah mengubah paradigma dalam studi tektonik aktif melalui kemampuannya menghasilkan model topografi beresolusi tinggi hingga skala sentimeter. Gelombang inframerah yang digunakan pada teknologi LiDAR mampu menembus kanopi vegetasi dan berbagai tutupan lahan lainnya sehingga memungkinkan akuisisi data hingga mencapai permukaan tanah (*ground surface*). Kemampuan tersebut memungkinkan representasi kondisi topografi secara lebih akurat, termasuk pada area yang tertutup

vegetasi. Dengan demikian, identifikasi kelurusan dan struktur geologi dapat dilakukan secara lebih presisi dibandingkan metode konvensional (Fahrurrijal, 2020; Salomon et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Analisis kelurusan (*lineament analysis*) berbasis penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah banyak digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi, seperti sesar dan rekahan, serta untuk memahami kontrol struktural terhadap bentang alam (Ahmadi & Pekkan, 2021; Demircioğlu et al., 2024).

Metode *Fault Fracture Density* (FFD) memanfaatkan analisis kerapatan kelurusan pada *Digital Elevation Model* (DEM) atau citra topografi untuk mengekstraksi zona lemah struktural yang berkaitan dengan sesar, rekahan, dan kontak litologi (Yanis, 2019). Penelitian di Pulau Weh dan beberapa wilayah panas bumi menunjukkan bahwa metode FFD efektif dalam mengidentifikasi jalur sesar dan zona permeabel melalui pengukuran total panjang kelurusan per satuan luas (Afina, 2023). Selain itu, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa distribusi densitas *lineament* memiliki hubungan erat dengan zona deformasi aktif dan potensi kerusakan akibat gempa bumi (Maulana et al., 2023; Wainaina, 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini menerapkan metode FFD pada DEM resolusi tinggi untuk mendelineasi sebaran sesar di Segmen Cihideung Sesar Lembang serta menilai implikasinya terhadap bahaya geologi setempat.

Meskipun karakteristik umum Sesar Lembang telah banyak diteliti, masih terdapat kesenjangan pengetahuan terkait jejak permukaan dan geometri sesar secara rinci pada beberapa segmen, khususnya Segmen Cihideung. Segmen ini relatif kurang mendapat perhatian, padahal menunjukkan ekspresi morfotektonik yang menonjol serta indikasi deformasi aktif. Tantangan dalam pemetaan rinci sesar dipengaruhi oleh kompleksitas topografi lokal, tutupan vegetasi yang lebat, serta perubahan bentang alam akibat perkembangan permukiman dan aktivitas pembangunan wilayah.

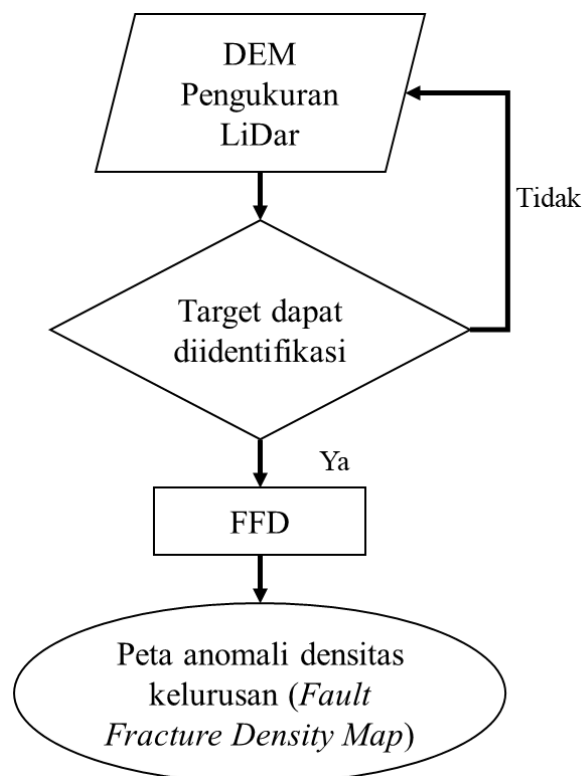
METODE PENELITIAN

Data

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa *Digital Elevation Model* (DEM) hasil survei *Light Detection and Ranging* (LiDAR) BMKG tahun 2024 yang mencakup wilayah Segmen Cihideung dan sekitarnya. Data DEM memiliki resolusi spasial tinggi sehingga mampu merepresentasikan kondisi topografi secara detail, termasuk fitur geomorfologi halus yang berkaitan dengan aktivitas sesar seperti gawir sesar, kelurusan lereng, dan pola aliran sungai yang terkontrol struktur geologi. Data ini diolah menggunakan sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) sesuai zona lokasi penelitian untuk menjaga ketelitian posisi spasial. Selain DEM LiDAR, penelitian ini juga memanfaatkan peta geologi regional, citra satelit optik, dan data penggunaan lahan sebagai data

pendukung dalam interpretasi struktur geologi dan kondisi geomorfologi wilayah penelitian.

Pengolahan data dilakukan melalui tahapan pra-pemrosesan DEM, ekstraksi kelurusan (*lineament extraction*), analisis densitas kelurusan menggunakan metode *Fault Fracture Density* (FFD), serta interpretasi zona sesar berdasarkan distribusi nilai densitas kelurusan. Metode FFD digunakan untuk mengidentifikasi zona lemah struktural dengan menghitung total panjang kelurusan dalam satuan luas tertentu, sehingga area dengan densitas tinggi dapat diinterpretasikan sebagai zona yang berasosiasi dengan aktivitas sesar dan deformasi aktif. Adapun diagram alir tahapan penelitian menggunakan metode FFD ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan pengolahan data DEM LiDar.

Gambar 1 menunjukkan alur pengolahan data DEM LiDAR hingga menghasilkan peta anomali densitas kelurusan (*Fault Fracture Density Map*) menggunakan metode FFD untuk mengidentifikasi zona struktur sesar.

Pengolahan DEM dan Ekstraksi Kelurusan

DEM LiDAR diolah menjadi citra *hillshade* dengan beberapa arah penyinaran matahari, misalnya azimuth 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315° dengan ketinggian matahari 45°, sehingga bentuk lereng dan gawir sesar tampak jelas dari berbagai sudut. Setiap citra *hillshade* dianalisis secara visual untuk mengidentifikasi kelurusan morfologi seperti tebing linier, lembah lurus, dan

punggungan yang seragam, kemudian kelurusan tersebut didigitasi sebagai *polyline* menggunakan perangkat lunak SIG.

Seluruh kelurusan dari tiap sudut *hillshade* di-overlay untuk memperoleh himpunan kelurusan gabungan, dan hanya garis yang konsisten kemunculannya serta sesuai dengan pola struktur regional yang dipertahankan sebagai kandidat sesar dan rekahan. Pada tahap ini dilakukan pemisahan antara kelurusan yang diinterpretasikan sebagai struktur geologi dan kelurusan yang lebih mungkin berasal dari unsur antropogenik atau pola drainase biasa.

Perhitungan *Fault Fracture Density*

Daerah penelitian dibagi ke dalam *grid* persegi (misalnya 250×250 m atau 500×500 m, mengikuti resolusi DEM dan skala peta), dan panjang seluruh kelurusan yang berada di dalam tiap sel dihitung secara otomatis di SIG. Nilai densitas kelurusan *L* untuk setiap sel didefinisikan sebagai total panjang kelurusan dalam sel dibagi luas sel, sehingga diperoleh satuan panjang per luas (km/km²) yang menggambarkan kerapatan struktur. Nilai densitas tersebut kemudian dipetakan dalam bentuk raster FFD dan diklasifikasikan menjadi beberapa kelas, misalnya sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi, menggunakan metode klasifikasi statistik yang sesuai.

Selain itu, dibuat diagram rosas (*rose diagram*) dari orientasi kelurusan untuk mengetahui arah dominan sesar dan rekahan di segmen Cihideung.

HASIL PENELITIAN

Pola Kelurusan di Segmen Cihideung

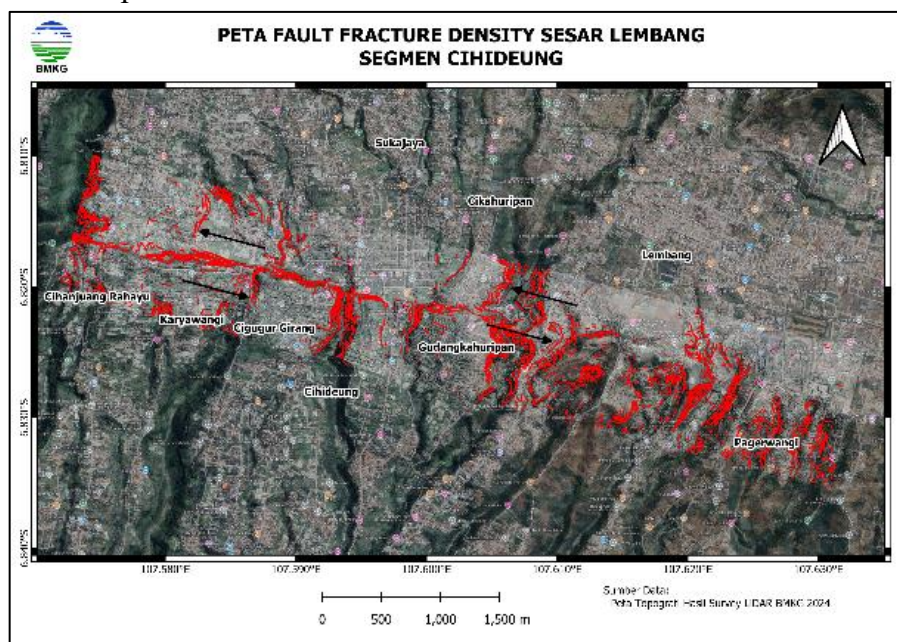
Interpretasi *hillshade* dan digitasi kelurusan menunjukkan bahwa segmen Cihideung didominasi oleh kelurusan berarah barat–timur hingga barat–laut–tenggara yang sejalan dengan orientasi utama Sesar Lembang, disertai sejumlah kelurusan *oblique* dan transversal. Sebaran kelurusan tampak mengelompok di beberapa zona, terutama di sekitar Cihanjuang Rahayu–Karyawangi, Cigugur Girang, Gudangkahuripan, dan Pagerwangi, yang mencerminkan zona deformasi lebih intens di sepanjang lereng utara Cekungan Bandung. Pola sebaran kelurusan tidak bersifat homogen, melainkan mengelompok pada beberapa zona tertentu, terutama di sekitar Cihanjuang Rahayu–Karyawangi, Cigugur Girang, Gudangkahuripan, dan Pagerwangi. Pengelompokan ini mencerminkan zona deformasi yang lebih intens di sepanjang lereng utara Cekungan Bandung, yang secara geomorfik merupakan batas transisi antara dataran cekungan dan morfologi perbukitan vulkanik di bagian utara.

Hasil ini menunjukkan kesesuaian yang kuat dengan temuan Daryono et al. (2019), yang mengemukakan bahwa Sesar Lembang tersusun atas beberapa segmen aktif dengan ekspresi geomorfologi yang bervariasi, termasuk gawir sesar, lembah linier, *offset* aliran sungai, dan zona rekahan yang berkembang tidak seragam sepanjang jalur sesar. Daryono et al. juga menekankan bahwa zona deformasi Sesar Lembang tidak selalu termanifestasi sebagai satu garis sesar tunggal, melainkan

sebagai zona kerusakan (*damage zone*) yang lebar, ditandai oleh kumpulan rekahan dan sesar minor dengan orientasi sejajar maupun menyilang terhadap arah sesar utama.

Peta *Fault Fracture Density*

Peta *Fault Fracture Density* (FFD) pada Segmen Cihideung ini menyajikan sebaran kelurusan (*lineament*) hasil ekstraksi dari data topografi LiDAR BMKG 2024 yang ditampilkan di atas citra satelit resolusi tinggi. Sebaran kelurusan tersebut tampak sebagai garis-garis berwarna merah yang mengindikasikan zona rekahan atau deformasi yang berkaitan langsung dengan aktivitas Sesar Lembang, khususnya pada segmen Cihideung yang berada di bagian tengah sistem sesar, seperti terlihat pada Gambar 2.

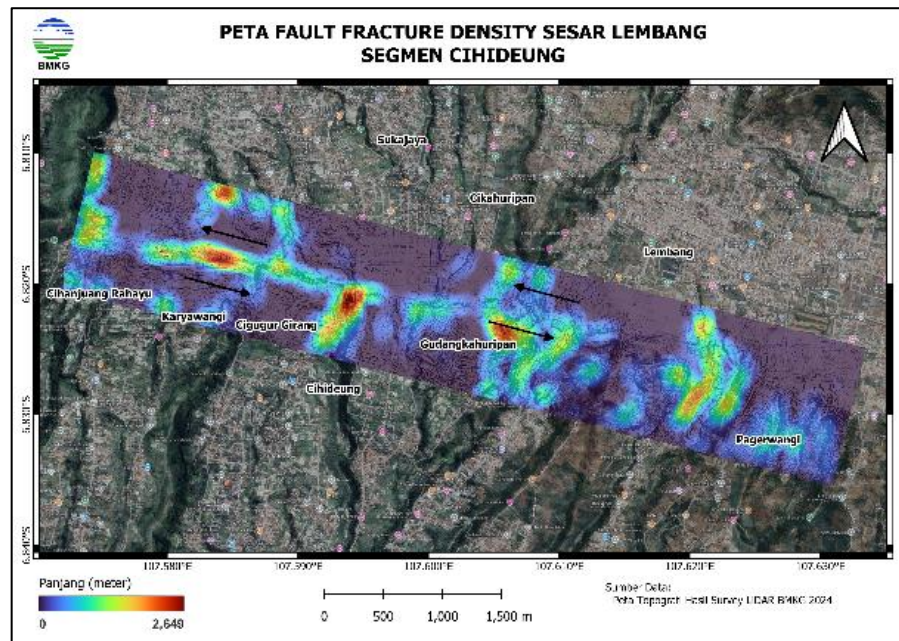


Gambar 2. Peta *Fault Fracture Density*

Secara umum, pola sebaran *lineament* menunjukkan zona rekahan yang memanjang dari arah barat ke timur mengikuti tren utama Sesar Lembang dengan orientasi dominan barat-timur hingga barat laut-tenggara (*WNW-ESE*). Pola kelurusan ini mengindikasikan adanya kontrol struktur geologi yang kuat terhadap morfologi permukaan di wilayah penelitian. Konsentrasi *lineament* yang rapat umumnya berkorelasi dengan zona deformasi aktif, rekahan batuan, maupun jalur sesar yang berkembang akibat aktivitas tektonik berkelanjutan.

Zona dengan densitas *lineament* sangat tinggi ditunjukkan oleh warna merah pekat pada peta FFD. Area tersebut diinterpretasikan sebagai zona yang mengalami deformasi permukaan paling intensif dan memiliki tingkat rekahan batuan yang tinggi. Keberadaan zona anomali ini mengindikasikan kemungkinan jalur utama sesar aktif maupun zona lemah struktural yang berpotensi menjadi area akumulasi tegangan tektonik di sekitar Segmen Cihideung Sesar Lembang.

Peta FFD (Freq) mengungkap variasi kerapatan kelurusan yang signifikan di dalam area studi, dengan nilai densitas tertinggi terkonsentrasi di beberapa jalur memanjang yang sejajar dengan jejak Sesar Lembang. Zona FFD tinggi membentuk pita selebar ratusan meter hingga lebih dari satu kilometer, yang diinterpretasikan sebagai zona kerusakan batuan (*damage zone*) di sekitar bidang sesar utama dan cabang-cabangnya, seperti ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Peta *Fault Fracture Density (Freq)*

Beberapa lokasi dengan nilai *Fault Fracture Density (FFD)* sangat tinggi berasosiasi dengan keberadaan gawir sesar dan lembah linier yang sebelumnya telah diidentifikasi sebagai indikasi sesar aktif. Kesesuaian pola tersebut menunjukkan bahwa zona densitas kelurusan tinggi memiliki keterkaitan kuat dengan deformasi permukaan akibat aktivitas tektonik. Sebaliknya, zona dengan nilai FFD sedang hingga rendah umumnya berada di luar koridor utama sesar atau pada area lereng yang relatif lebih stabil dan minim rekahan struktural.

Selain itu, pola distribusi FFD memperlihatkan keterkaitan dengan jaringan aliran sungai yang cenderung berkembang mengikuti zona dengan kerapatan rekahan tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur geologi berperan dalam mengontrol arah aliran permukaan serta berpotensi menjadi jalur rembesan dan akumulasi air tanah pada wilayah penelitian.

PEMBAHASAN

Peta *Fault Fracture Density (FFD)* hasil interpretasi *hillshade* dan digitasi kelurusan pada Segmen Cihideung menunjukkan distribusi kerapatan rekahan yang tidak homogen, dengan zona-zona densitas tinggi yang terorganisasi mengikuti arah barat-timur hingga baratlaut-tenggara. Orientasi dominan ini sejalan dengan arah

utama Sesar Lembang, sebagaimana dipetakan secara geomorfik dan paleoseismik oleh Daryono et al. (2019). Keselarasan antara pola FFD dan jejak sesar aktif pada peta Daryono mengindikasikan bahwa kelurusan permukaan yang teridentifikasi melalui DEM merefleksikan sistem deformasi geser aktif yang berkembang di sepanjang lereng utara Cekungan Bandung.

Pola distribusi kelurusan dan densitas FFD yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan pendekatan analisis lineament berbasis DEM dan SIG yang telah banyak digunakan dalam studi struktur geologi modern (Ahmadi & Pekkan, 2021; Demircioğlu et al., 2024).

Zona FFD tinggi terdistribusi secara sistematis pada tiga sektor utama Segmen Cihideung, yaitu sektor barat (Cihanjuang Rahayu – Karyawangi), sektor tengah (Cigugur Girang – Cihideung – Gudangkahuripan), dan sektor timur (Lembang – Pagerwangi). Pada sektor barat, pola kelurusan tampak relatif linear dan paralel, mencerminkan kedekatan terhadap jalur sesar utama. Hal ini konsisten dengan interpretasi Daryono et al. (2019) yang menunjukkan bahwa bagian barat Sesar Lembang merupakan segmen aktif dengan ekspresi geomorfik yang cukup jelas, seperti gawir sesar dan kelurusan lembah.

Sektor tengah Segmen Cihideung menunjukkan konfigurasi FFD paling kompleks, dengan kerapatan kelurusan yang sangat tinggi dan orientasi yang lebih bervariasi. Selain kelurusan sejajar sesar utama, berkembang pula kelurusan *oblique* dan transversal yang diinterpretasikan sebagai rekahan Riedel (R dan R') serta rekahan tensional (*T-fractures*). Pola ini mencerminkan zona deformasi geser yang matang, di mana strain tidak hanya terlokalisasi pada satu bidang sesar, tetapi tersebar luas membentuk *damage zone*. Interpretasi ini sejalan dengan peta struktur aktif Daryono et al. (2019), khususnya pada *section* Cihideung hingga Gunung Batu, yang memperlihatkan segmentasi internal sesar serta keberadaan jalur sesar bercabang yang berpotensi memengaruhi panjang rupture dan perilaku gempa.

Pada sektor timur, khususnya Lembang hingga Pagerwangi, peta FFD kembali menunjukkan densitas kelurusan tinggi dengan pola yang lebih teratur memanjang. Zona ini berkorespondensi dengan segmen timur Sesar Lembang yang pada peta Daryono et al. (2019) ditafsirkan sebagai bagian dari sesar geser mengiri dengan komponen naik lokal. Konsistensi antara jalur sesar aktif pada peta geologi dan konsentrasi FFD tinggi menunjukkan bahwa meskipun sebagian ekspresi sesar telah tereduksi oleh proses geomorfik dan aktivitas manusia, zona deformasi struktural masih terekam jelas melalui analisis kelurusan berbasis DEM.

Korelasi hasil FFD dengan penelitian mikrozonasi seismik oleh Fahrurrijal et al. (2020) memperkuat interpretasi tersebut. Studi mikrozonasi berbasis mikrotremor H/V menunjukkan bahwa wilayah antara Cihideung dan Gunung Batu memiliki frekuensi dominan rendah dan faktor amplifikasi sedang hingga tinggi, terutama pada area yang disusun oleh endapan tufan dan danau. Zona-zona dengan kerentanan seismik lebih tinggi ini secara spasial berasosiasi dengan area FFD

tinggi, mengindikasikan bahwa batuan dan endapan yang telah terfragmentasi oleh deformasi sesar berulang cenderung memperkuat respons seismik lokal.

Dengan demikian, peta FFD tidak hanya merepresentasikan distribusi rekahan permukaan, tetapi juga berfungsi sebagai indikator zona deformasi aktif yang memiliki implikasi langsung terhadap bahaya gempa dan ketidakstabilan lereng. Integrasi antara analisis FFD, peta sesar aktif Daryono et al. (2019), dan hasil mikrozonasi Fahrurrijal et al. (2020) menunjukkan bahwa Segmen Cihideung merupakan bagian aktif dari sistem Sesar Lembang yang berkembang sebagai sesar geser mengiri dengan geometri kompleks dan segmentasi internal. Pendekatan ini menegaskan pentingnya pemetaan kelurusan berbasis DEM sebagai alat kuantitatif untuk melengkapi studi geologi dan geofisika dalam penilaian bahaya seismik di kawasan yang berkembang pesat secara urban seperti Lembang dan sekitarnya.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mendelineasi sebaran sesar dan rekahan pada Segmen Cihideung Sesar Lembang menggunakan metode *Fault Fracture Density* (FFD) berbasis DEM LiDAR resolusi tinggi. Pola kelurusan didominasi arah barat–timur hingga baratlaut–tenggara, sejalan dengan orientasi sesar utama, dengan distribusi yang tidak homogen dan terkonsentrasi pada sektor barat, tengah, dan timur sebagai zona deformasi intensif. Peta FFD menunjukkan zona densitas tinggi membentuk pita memanjang sejajar jalur sesar yang merepresentasikan *damage zone*, sementara kompleksitas kelurusan di sektor tengah mengindikasikan perkembangan struktur sekunder seperti rekahan Riedel dan tensional. Korelasi dengan data geologi dan mikrozonasi seismik menunjukkan bahwa zona dengan kerapatan rekahan tinggi memiliki kerentanan seismik lebih besar. Dengan demikian, metode FFD efektif sebagai pendekatan kuantitatif dalam mengidentifikasi zona deformasi aktif serta mendukung penilaian bahaya gempa, perencanaan tata ruang, dan mitigasi risiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, H., & Pekkan, E. (2021). Fault-based geological lineaments extraction using remote sensing and GIS—A review. *Geosciences*, 11(5), 183. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050183>
- Casana, J., Laugier, E. J., Hill, A. C., Reese, K. M., Ferwerda, C., McCoy, M. D., & Ladefoged, T. (2021). Exploring archaeological landscapes using drone-acquired lidar: Case studies from Hawai'i, Colorado, and New Hampshire, USA. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 39, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.103133>
- Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., Sapiie, B., & Cummins, P. (2019). Earthquake geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics*, 751, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.12.014>

- Demircioğlu, R., Eren, Y., & Coşkuner, B. (2024). The extraction and structural analysis of lineaments using GIS methods. *Geofisica Internacional*, 63(4). <https://doi.org/10.22201/igeof.2954436xe.2024.63.4.1725>
- Fahrurrijal, R., Tohari, A., & Muttaqien, I. (2020). Mikrozonasi seismik di wilayah ancaman sesar Lembang antara seksi Cihideung dan Gunung Batu berdasarkan pengukuran mikrotremor. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 30(1), 81–98. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2020.v30.1092>
- Hanifa, N. R., Gunawan, E., Nurfiyani, D., Shomim, A. F., Muttaqy, F., Sutyawan, A. G., et al. (2025). Integrated seismo-geodetic observatory network for monitoring the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Earth and Planetary Physics*, 9(5), 1087–1097. <https://doi.org/10.26464/epp2025076>
- Hussain, E., Gunawan, E., Hanifa, N. R., & Zahro, Q. (2023). The seismic hazard from the Lembang Fault, Indonesia, derived from InSAR and GNSS data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(10), 3185–3197. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-3185-2023>
- Irsyam, M., Sengara, I. W., Aldiasmara, F., Asrurifak, M., & Triyoso, W. (2020). Seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19(2), 455–476. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0569-7>
- Maulana, B. R., Burhanuddin, M. S., & Akbar, M. F. (2023). Lineament density and its implication for ground fissures after the 2021 Flores earthquake. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 8(1). <https://doi.org/10.25299/jgeet.2023.8.1.10849>
- Paoletti, V., D'Antonio, D., De Natale, G., Troise, C., & Nappi, R. (2024). Large-depth ground-penetrating radar for investigating active faults: The case of the 2017 Casamicciola Fault System, Ischia Island (Italy). *Applied Sciences*, 14(15), 6460. <https://doi.org/10.3390/app14156460>
- Salomon, G., Finley, T., Nissen, E., Stephen, R., & Menounos, B. (2024). Mapping fault geomorphology with drone-based lidar. *Seismica*, 3(1). <https://doi.org/10.26443/seismica.v3i1.1186>
- Simons, W. J. F., Socquet, A., Subkhan, C., Prasetyadi, C., Vigny, C., Banerjee, P., Spakman, W., & Ambrosius, B. A. C. (2007). ALOS PALSAR displacements and associated earthquakes detected in the Mentawai region, Indonesia. *Geophysical Research Letters*, 34, L15306. <https://doi.org/10.1029/2007GL031014>
- Sunan, H. L., Gibran, A. K., Aditama, M. R., Iswahyudi, S., Widiatmoko, F. R., & Widagdo, A. (2021). Interpretasi struktur geologi berdasarkan Fault Fracture Density (FFD) dan implikasinya terhadap potensi likuefaksi di daerah Kalibening, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. *Eksplorium*, 42(1), 69–84. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2021.42.1.6129>

- Wainaina, J. N. (2024). Gravity-based fault lineament mapping in Olkaria geothermal field, Kenya. *Logan Journal of Multidisciplinary Earth Sciences*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17078089>
- Zhang, X., et al. (2024). Investigating paleoseismicity using high-resolution airborne LiDAR data. *Journal of Structural Geology*, 180, 105063. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2024.105063>
- Zhang, Y., Tan, Y., Onda, Y., Hashimoto, A., Gomi, T., Chiu, C., & Inokoshi, S. (2023). A tree detection method based on trunk point cloud section in dense plantation forest using drone LiDAR data. *Forest Ecosystems*, 10, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100088>