

[Research Article]



Pemantauan Perubahan Deformasi Tanah Tahun 2014–2024 Berbasis DInSAR di Kecamatan Cisarua

Annisa Amaanah*, **Ai Sulastri**^{}, **Alif Alfarezy**, **Ghea Redana Pitaloka**, **Khairul Anam**, **Silmi Afina Aliyan**^{}

Program Studi Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

*Correspondance: annisaamaanah@gmail.com

Informasi Artikel:	Abstrak
Diterima: 10 Agustus 2025 Disetujui: 10 September 2025 Dipublikasi: 12 September 2025 Kata kunci: deformasi; DInSAR; Sesar Lembang.	Kecamatan Cisarua yang berada di jalur Sesar Lembang memiliki risiko tinggi karena dekat dengan permukiman padat dan berpotensi gempa bermagnitudo besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi Sesar Lembang di Kecamatan Cisarua tahun 2014-2024 menggunakan data citra Sentinel-1A, dan TerraSAR-X, serta analisis Digital Terrain Model (DTM) dari Unmanned Aerial Vehicle, dengan metode Differential Interferometric SAR (DInSAR) resolusi tinggi. Tingkat deformasi bervariasi dari rendah hingga tinggi, dengan dominasi tingkat deformasi sedang. Deformasi tinggi teridentifikasi di sisi utara dan timur laut, berdekatan dengan zona tektonik aktif. Analisis DTM mengungkap gradien topografi curam dengan elevasi 975,9–1395 mdpl. Kombinasi deformasi dan topografi curam menunjukkan risiko longsor atau keruntuhan tanah yang signifikan. Hasil penelitian ini harapannya dapat membantu dalam mitigasi bencana di Kecamatan Cisarua akibat adanya deformasi Sesar Lembang.
Article Info:	Abstract
Received: 10 August 2025 Accepted: 10 September 2025 Published: 12 September 2025 Keywords: deformation; DInSAR; Lembang Fault.	Cisarua District, situated on the Lembang Fault line, has a high risk due to its proximity to densely populated settlements and its potential for large-magnitude earthquakes. This study aims to analyze the deformation of the Lembang Fault in Cisarua District from 2014 to 2024 using Sentinel-1A and TerraSAR-X imagery data, as well as Digital Terrain Model (DTM) analysis from an Unmanned Aerial Vehicle, employing the high-resolution Differential Interferometric SAR (DInSAR) method. The deformation levels vary from low to high, with a dominance of moderate deformation levels. High deformation was identified on the north and northeast sides, adjacent to the active tectonic zone. The DTM analysis revealed a steep topographic gradient with an elevation of 975.9–1395 masl. The combination of deformation and steep topography indicates a significant risk of landslides. The results of this study are expected to assist in disaster mitigation in the Cisarua District due to the deformation of the Lembang Fault.

PENDAHULUAN

Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bandung Barat merupakan salah satu wilayah yang berada pada kawasan Sesar Lembang. Keberadaan sesar aktif ini menjadikan Kecamatan Cisarua memiliki tingkat kerawanan geologi yang tinggi, terutama terkait risiko deformasi permukaan. Sesar Lembang merupakan struktur patahan aktif dengan panjang sekitar 30 km yang membentang dari timur ke barat dan melintasi beberapa wilayah di Kabupaten Bandung Barat (Aji dkk., 2018).

Sesar Lembang digolongkan ke dalam sesar normal. Menurut Daryono (2019), sesar ini memiliki kecepatan pergeseran sebesar 3–5,5 mm/tahun. Arah pergeseran tersebut ditandai dengan bagian patahan menurun di sisi utara dan patahan naik di sisi selatan. Pergeseran tahunan ini diprediksi menimbulkan deformasi signifikan di kawasan yang terpengaruh aktivitas Sesar Lembang. Secara struktural, blok Lembang bagian utara mengalami amblesan, sedangkan blok bagian selatan mengalami pengangkatan. Hal ini menghasilkan bidang geser patahan yang miring terjal ke arah utara. Morfologi sesar kemudian terekspresikan sebagai gawir sesar (*fault scarp*) dengan dinding terjal menghadap ke utara. Bagian Sesar Lembang yang dapat diamati pada peta topografi, foto udara, maupun citra satelit memiliki panjang sekitar 20 km dari arah timur ke barat (Hidayat, 2010). Fenomena ini menimbulkan potensi deformasi permukaan yang berdampak langsung pada keberlangsungan infrastruktur, aktivitas ekonomi, maupun permukiman penduduk.

Kecamatan Cisarua sendiri berada tepat di jalur Sesar Lembang, sehingga aktivitas tektonik yang terjadi berpotensi memicu deformasi permukaan dengan implikasi luas terhadap infrastruktur, permukiman, dan lingkungan sekitarnya. Untuk mendeteksi fenomena ini, teknologi penginderaan jauh, khususnya citra radar, menjadi sarana efektif karena mampu mengidentifikasi perubahan posisi permukaan tanah dengan detail tinggi (Aji dkk., 2018). Deformasi dapat dibedakan menjadi deformasi statik yang bersifat permanen dan deformasi dinamik yang bersifat sementara atau elastis (Massinai, 2015).

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji Sesar Lembang, namun studi yang berfokus pada deformasi di Kecamatan Cisarua masih sangat terbatas. Padahal, metode

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) terbukti memiliki keunggulan dalam memantau deformasi dengan cakupan luas dan resolusi spasial tinggi. Penelitian Dwiakram dkk. (2021), misalnya, menggunakan citra Sentinel-1A untuk memantau penurunan muka tanah di Kecamatan Sayung, Demak (2017–2020), dan menghasilkan peta laju penurunan rata-rata 3,09 cm/tahun yang tervalidasi dengan pengukuran GNSS. Sementara itu, Bakker dkk. (2023) memanfaatkan Sentinel-1A untuk menganalisis deformasi akibat Gempa Ambon 26 September 2019, yang menunjukkan penurunan muka tanah (*subsidence*) hingga –14 cm di daerah Liang dan Tulehu serta kenaikan (*uplift*) hingga +10 cm di Pulau Haruku. Hasil kedua studi tersebut menegaskan keandalan metode DInSAR dalam memantau deformasi, baik akibat proses tektonik maupun non-tektonik.

Sejumlah penelitian mengenai deformasi Sesar Lembang telah dilakukan dengan pendekatan geodesi dan penginderaan jauh. Analisis Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) dan Global Navigation Satellite System (GNSS) menunjukkan adanya *slip rate* sekitar 4,7 mm/tahun dengan indikasi *creep* dangkal ~2,2 mm/tahun, serta laju kompresi signifikan di sepanjang jalur sesar (Hussain dkk., 2023). Studi berbasis Sentinel-1 juga mengungkap perbedaan deformasi vertikal antara sisi utara dan selatan sesar (Aji dkk., 2018), sementara pemantauan GNSS menegaskan adanya gradien regangan regional. Namun, kajian tersebut sebagian besar masih berfokus pada skala regional Bandung dan sekitarnya, sehingga belum memberikan gambaran detail di tingkat kecamatan yang padat penduduk seperti Cisarua. Dengan demikian, kajian serupa di Sesar Lembang, khususnya di Kecamatan Cisarua, masih jarang dilakukan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji deformasi Sesar Lembang di Kecamatan Cisarua melalui pemanfaatan citra radar Sentinel-1, TerraSAR-X, serta data Digital Terrain Model (DTM) hasil akuisisi UAV. Periode analisis 2014–2024 dipilih karena sesuai dengan ketersediaan data Sentinel-1 yang berkesinambungan, sehingga memungkinkan studi deformasi jangka panjang. Kombinasi data Sentinel-1, TerraSAR-X, dan UAV diharapkan mampu menghasilkan informasi spasial dan temporal yang lebih detail

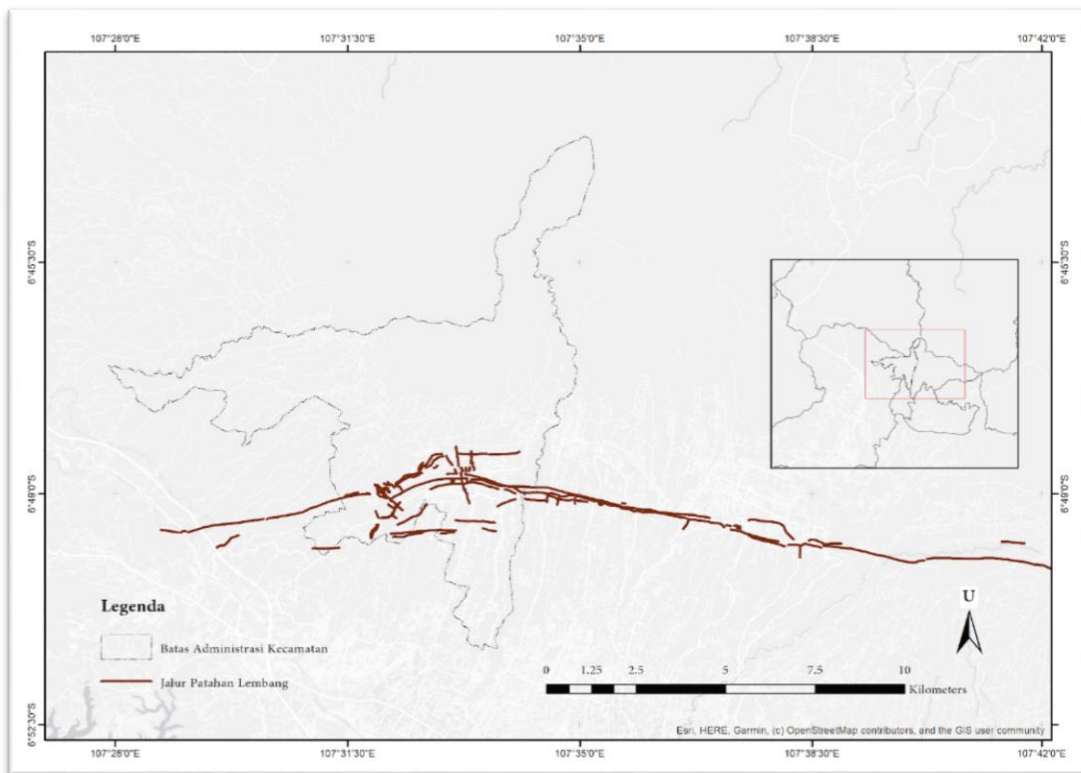
dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya mengandalkan satu sumber data. Penelitian ini juga memiliki urgensi tinggi dalam konteks mitigasi bencana, mengingat Kecamatan Cisarua merupakan wilayah padat penduduk dengan tingkat risiko tinggi terhadap dampak aktivitas Sesar Lembang.

METODE

Area Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bandung Barat, dengan koordinat geografis $6^{\circ}3.73'-7^{\circ}1.031'$ LS dan $107^{\circ}1.10'-107^{\circ}4.40'$ BT. Lokasi penelitian mencakup area sebesar 5.511 ha (Aji dkk.,

2018). Secara administratif, Kecamatan Cisarua terdiri atas delapan desa, yaitu Cipada, Jambudipa, Padaasih, Tugumukti, Kertawangi, Sadangmekar, Pasirhalang, dan Pasirlangu. Seluruh desa tersebut termasuk dalam kawasan yang dipengaruhi oleh jalur Sesar Lembang, sehingga memiliki tingkat kerentanan yang relatif tinggi terhadap aktivitas tektonik. Oleh karena itu, analisis deformasi dalam penelitian ini dilakukan pada keseluruhan wilayah Kecamatan Cisarua secara menyeluruh dengan tujuan memperoleh gambaran spasial yang komprehensif mengenai potensi deformasi dan urgensi mitigasi bencana geologi. Adapun lokasi penelitian ini terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan berbagai jenis data spasial dan penginderaan jauh yang bersumber dari instansi resmi maupun hasil akuisisi lapangan. Pertama, digunakan data administrasi kecamatan dalam bentuk vektor dengan skala 1:25.000 yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2024. Data ini berfungsi untuk memberikan batasan wilayah studi pada tingkat kecamatan serta menjadi acuan dalam pemetaan hasil analisis deformasi. Selain itu, digunakan pula

data administrasi kabupaten yang juga berbentuk vektor dengan skala 1:25.000 (BIG, 2024). Data administrasi kabupaten ini penting untuk konteks spasial yang lebih luas, sehingga memudahkan dalam melihat hubungan antara wilayah Kecamatan Cisarua dengan kawasan lain di Kabupaten Bandung Barat yang juga dilintasi oleh Sesar Lembang.

Selanjutnya, penelitian ini menggunakan citra satelit radar TerraSAR-X yang berbentuk raster dengan resolusi spasial 30 meter dan resolusi temporal tahun 2024. Data ini diperoleh

dari European Space Agency (ESA, 2025) dan digunakan untuk analisis deformasi dengan cakupan spasial luas serta ketelitian cukup tinggi. Citra TerraSAR-X memiliki keunggulan dalam memberikan informasi deformasi dengan presisi lebih baik dibandingkan citra optis karena sifat gelombang radarnya mampu menembus awan dan merekam data permukaan secara konsisten.

Selain TerraSAR-X, penelitian ini juga menggunakan citra Sentinel-1, yang merupakan data radar Synthetic Aperture Radar (SAR) dengan resolusi spasial 5×5 meter. Data Sentinel-1 yang dipakai mencakup tiga periode temporal, yaitu tahun 2014, 2018, dan 2023 (ESA, 2025). Kurun waktu tersebut dipilih berdasarkan pada ketersediaan data citra Sentinel-1 serta data yang dikombinasikan yakni data TerraSAR-X dan data UAV DTM. Rentang waktu yang panjang ini memungkinkan analisis deformasi dilakukan secara multi-temporal sehingga dapat diketahui tren pergeseran permukaan dalam jangka menengah hingga panjang. Data Sentinel-1 juga dipilih karena ketersediaannya yang konsisten dan kemampuannya dalam mendeteksi deformasi permukaan dengan resolusi spasial yang relatif tinggi.

Penelitian ini juga memanfaatkan data Digital Terrain Model (DTM) hasil akuisisi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk melengkapi analisis berbasis citra satelit. Data ini berbentuk raster dengan resolusi spasial sangat tinggi, yaitu 10 cm/pixel, dan diperoleh melalui survei lapangan pada tahun 2024. Data UAV DTM sangat penting dalam memberikan detail topografi yang presisi, sehingga mampu memperlihatkan perubahan mikro pada permukaan tanah di wilayah studi. Kombinasi resolusi tinggi UAV DTM dengan cakupan luas data Sentinel-1 dan TerraSAR-X memberikan keunggulan dalam memadukan skala analisis detail hingga regional.

Secara keseluruhan, keberagaman jenis data yang digunakan, mulai dari data administrasi, citra radar satelit, hingga data UAV, menjadikan penelitian ini memiliki landasan data yang kuat. Integrasi berbagai sumber data tersebut memungkinkan analisis deformasi permukaan di Kecamatan Cisarua dilakukan dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih detail serta akurat dibandingkan penelitian sebelumnya yang cenderung hanya mengandalkan satu jenis data. Adapun detail data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Data Penelitian

Data	Tipe	Resolusi Spasial	Resolusi Temporal	Referensi
Administrasi Kecamatan	Vektor	1:25.000	2024	BIG, 2024
Administrasi Kabupaten	Vektor	1:25.000	2024	BIG, 2024
TerraSAR-X	Raster	30 m	2024	ESA, 2025
Citra Sentinel-1	Raster	5×5 m	2014, 2018, 2023	ESA, 2025
UAV DTM	Raster	10 cm/pix	2024	Akuisisi Data Lapangan

Teknik Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

Penelitian ini memanfaatkan data DInSAR citra radar Sentinel 1. Data DInSAR digunakan untuk mengukur perpindahan kecil di permukaan bumi dengan mengukur fase dari dua gambar yang diperoleh di wilayah yang sama pada waktu yang berbeda untuk mengukur jarak relatif. Hasil dari perhitungan perbedaan fase melalui DInSAR menghasilkan citra baru yang disebut interferogram. Metode DInSAR merupakan sebuah metode pengambilan data citra radar secara menyamping dengan memanfaatkan perbedaan fasa dua atau lebih citra SAR melalui akuisisi yang berbeda dalam proses pengolahannya untuk menghasilkan output berupa topografi dan deformasi (Cynthia & Pudja, 2018).

Sebuah interferogram akan memberikan informasi pada wilayah kajian yang mengalami penurunan atau kenaikan muka tanah. DInSAR akan menghasilkan variasi fase *interferometric*. Variasi fase tersebut dituliskan dalam Persamaan 1 berikut.

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{disp}} + \Delta\varphi_{\text{topo}} + \Delta\varphi_{\text{orb}} + \Delta\varphi_{\text{atm}} + \Delta\varphi_{\text{scatt}} + \Delta\varphi_{\text{noise}} \quad (1)$$

dimana $\Delta\varphi_{\text{disp}}$ adalah fase akibat deformasi permukaan (perpindahan tanah sepanjang garis pandang satelit), $\Delta\varphi_{\text{topo}}$ adalah fase akibat topografi (perbedaan elevasi di permukaan bumi), $\Delta\varphi_{\text{orb}}$ adalah fase akibat kesalahan orbit satelit, $\Delta\varphi_{\text{atm}}$ adalah fase akibat gangguan atmosfer (*delay troposfer/ionosfer*), $\Delta\varphi_{\text{scatt}}$ adalah fase akibat perubahan hamburan

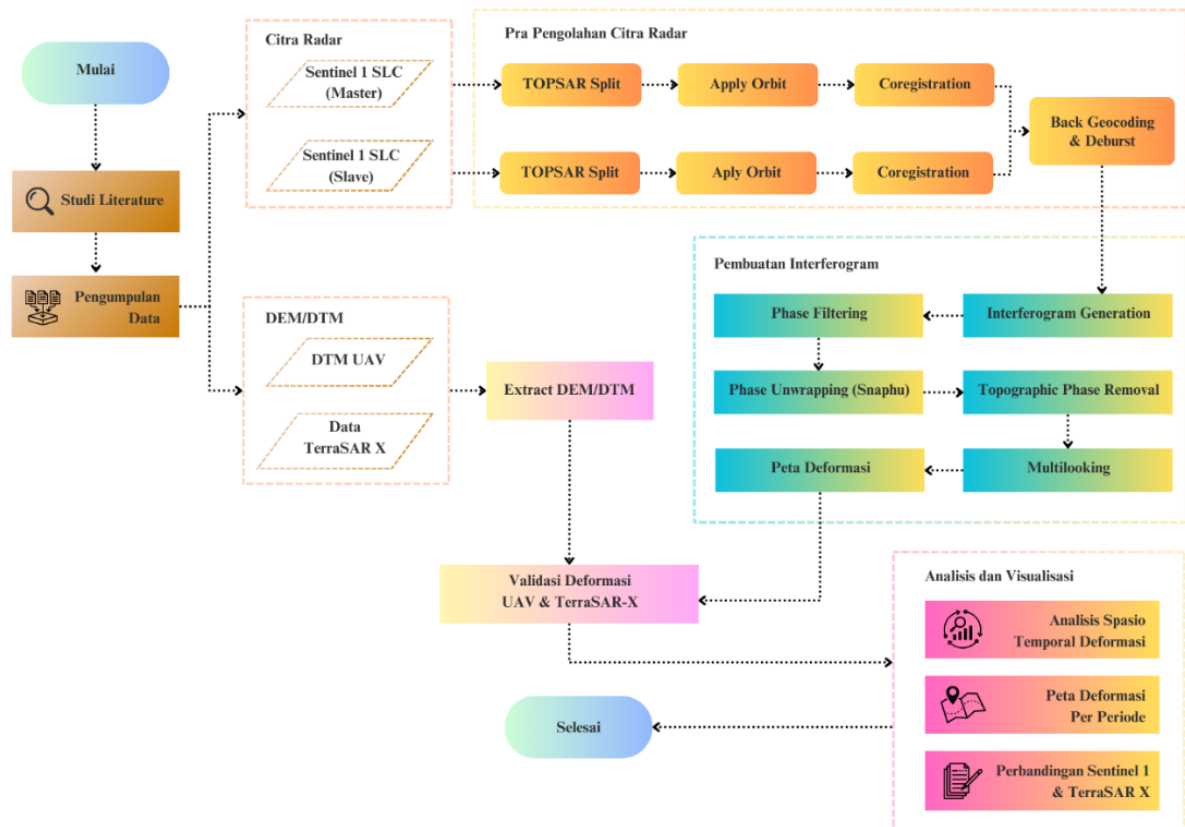
gelombang radar (misalnya perubahan kelembaban, vegetasi, atau kondisi tanah antara dua akuisisi), dan $\Delta\phi_{\text{noise}}$ adalah fase akibat derau (*noise*), baik dari sensor maupun proses koregistrasi.

Alur penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep deformasi tektonik serta metode DInSAR, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data berupa citra Sentinel-1 (SLC level) serta DEM/DTM dari UAV dan TerraSAR-X. Tahap pra-pengolahan citra radar dilakukan melalui proses TOPSAR *Split* dan *Apply Orbit File* untuk memperbaiki orbit, dilanjutkan dengan coregistration agar citra *master* dan *slave* selaras, kemudian *Back Geocoding* dan *Deburst*. Setelah itu, dilakukan pembuatan interferogram untuk memperoleh informasi fase deformasi. Interferogram yang dihasilkan difilter untuk mengurangi derau, kemudian dilakukan *phase unwrapping* dengan algoritma *Snaphu*, serta *topographic phase removal* menggunakan data DEM agar fase deformasi murni dapat diperoleh.

Pengolahan interferometric dilakukan dengan integrasi Sistem Informasi Geografis. Proses pengolahan fase orbit dikoreksi menggunakan orbit presisi yang disediakan oleh

ESA untuk Sentinel-1. Fase topografi disimulasikan dengan menggunakan citra Sentinel-1 multi-temporal yang dikurangi dari interferogram. Variasi atmosfer diminimalisir dengan menggunakan *stacking* pada citra yang diolah. Sedangkan untuk meminimalisir *noise* atau derau dilakukan proses *filtering* dengan menggunakan teknik *goldstein-filtering*. Seluruh proses pengolahan dilakukan dengan menggunakan aplikasi SNAP yang disediakan oleh ESA untuk mengolah citra Sentinel-1.

Hasil berupa peta deformasi kemudian diproses dengan multilooking untuk memperbaiki kualitas spasial, sebelum divalidasi menggunakan DEM/DTM UAV dan TerraSAR-X. Tahap akhir berupa analisis spasial-temporal dilakukan untuk mengkaji deformasi di Kecamatan Cisarua pada dua periode (2014–2018 dan 2018–2023), sekaligus membandingkan hasil deformasi antara data Sentinel-1 dan TerraSAR-X. Melalui alur ini, penelitian tidak hanya menghasilkan peta deformasi yang akurat, tetapi juga memberikan pemahaman lebih komprehensif mengenai dinamika tektonik Sesar Lembang serta implikasinya terhadap mitigasi risiko bencana (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

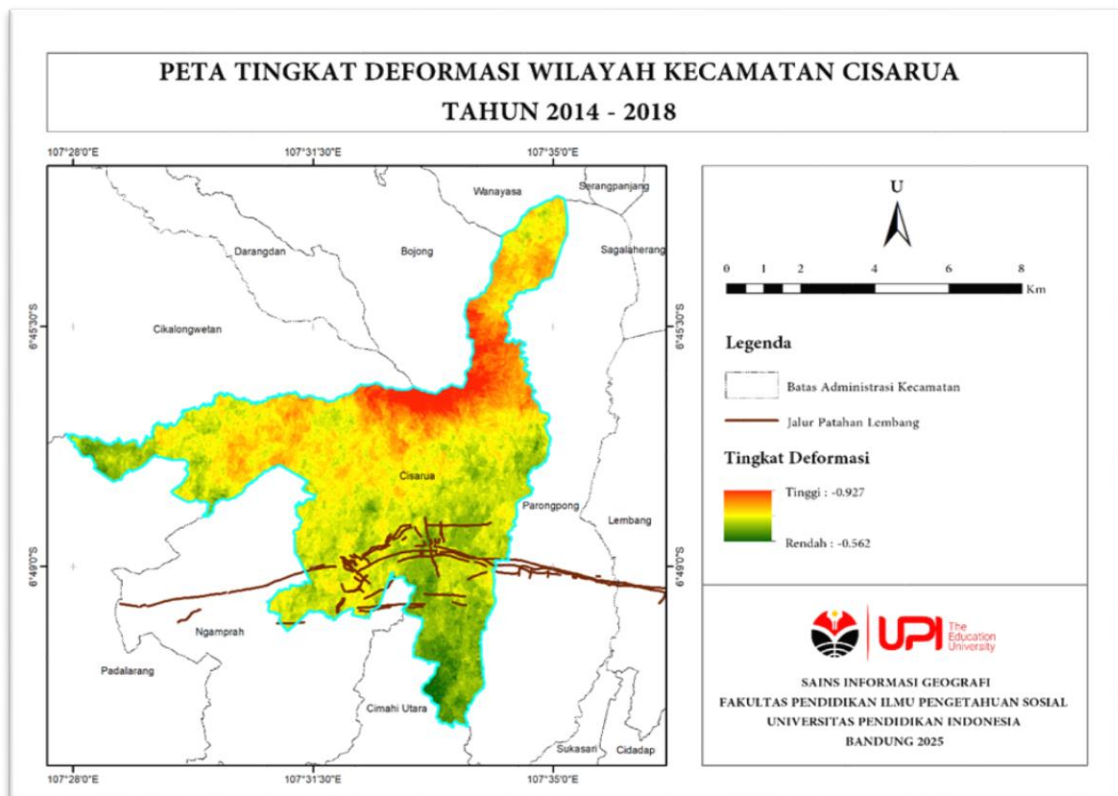
Pengukuran deformasi dilakukan melalui DInSAR yang merepresentasikan pergeseran pada arah *Line of Sight* (LOS). Penelitian ini mengasumsikan bahwa pergeseran tanah yang terdeteksi dominan terjadi pada arah vertikal, dengan sudut *incidence angle* dianggap sebanding dengan sudut *off-nadir* sensor (Dwiakram dkk., 2021). Interpretasi hasil deformasi ditetapkan berdasarkan konvensi bahwa nilai negatif menunjukkan penurunan muka tanah (*subsidence*), sedangkan nilai positif mengindikasikan pengangkatan muka tanah (*uplift*). Selanjutnya, laju deformasi dikategorikan ke dalam tiga kelas yaitu rendah, sedang, dan tinggi guna memfasilitasi analisis spasial-temporal secara lebih sistematis.

Deformasi yang diperoleh diverifikasi menggunakan data independen berupa DTM hasil akuisisi UAV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Deformasi Tahun 2014 - 2018

Tingkat deformasi divisualisasikan dalam bentuk peta tematik dengan warna merah sebagai tingkat deformasi yang tinggi serta warna hijau yang menunjukkan tingkat deformasi yang rendah. Hasil ini menunjukkan tingkat deformasi di wilayah-wilayah yang dilalui oleh Sesar Lembang termasuk Kecamatan Cisarua. Adapun peta tingkat deformasi wilayah di Kecamatan Cisarua ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Peta Tingkat Deformasi Wilayah Kecamatan Cisarua Tahun 2014-2018

Deformasi di kecamatan Cisarua pada periode 2014–2018 bervariasi dari rendah hingga tinggi, dengan dominasi kelas sedang (Gambar 3). Konsentrasi deformasi tinggi teridentifikasi di bagian utara, dengan laju mencapai $-0,927$ m. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan sifat geologi lokal, khususnya endapan aluvial dan batuan terfragmentasi yang relatif lemah. Temuan ini sejalan dengan studi Dwiakram dkk. (2021) di Kecamatan Sayung, Demak, yang menunjukkan deformasi

signifikan terjadi pada area dengan komposisi geologi rapuh. Selain itu, penelitian Azhari dkk. (2020) pada kasus gempa Lombok juga mengonfirmasi bahwa area dengan material geologi lemah cenderung mengalami deformasi lebih besar. Hal ini memperkuat bahwa sifat geologi setempat menjadi faktor penting dalam memengaruhi intensitas deformasi. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa wilayah utara Kecamatan Cisarua, yang memiliki topografi curam sekaligus batuan lemah, berpotensi

tinggi mengalami longsor atau pergeseran tanah. Informasi ini penting bagi pemerintah daerah dalam perencanaan tata ruang, khususnya dalam menentukan zona aman untuk permukiman maupun infrastruktur

Tingkat Deformasi Tahun 2018 - 2023

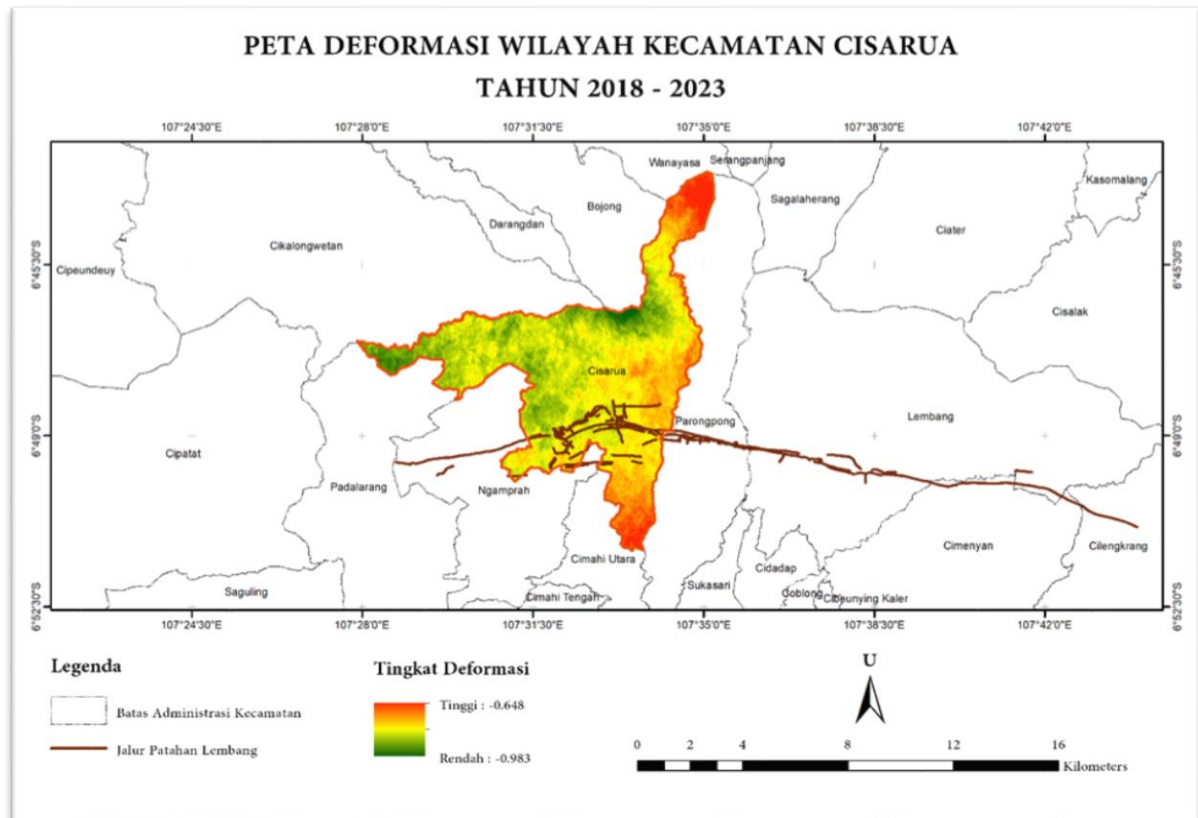
Berdasarkan peta tingkat deformasi wilayah Kecamatan Cisarua tahun 2018–2023 terlihat adanya variasi tingkat deformasi yang signifikan di sepanjang Sesar Lembang. Area dengan deformasi tinggi sebesar -0,648 meter, terkonsentrasi di bagian tengah dan selatan Kecamatan Cisarua yang berada di daerah yang dekat dengan Sesar Lembang (Gambar 4). Fenomena ini menunjukkan bahwa area tersebut berada dalam zona tektonik aktif, di mana pergerakan patahan cenderung lebih intensif. Warna kuning yang mewakili deformasi sedang tersebar di sebagian besar wilayah, mengindikasikan bahwa dampak pergerakan sesar meluas ke area sekitarnya, meskipun dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan area utama sesar. Warna hijau di sisi utara dan barat Kecamatan Cisarua menandakan deformasi rendah, yang kemungkinan besar karena

jaraknya yang lebih jauh dari pusat aktivitas sesar.

Tingkat deformasi pada periode ini salah satunya disebabkan oleh struktur geologi yang didominasi oleh batuan vulkanik tua dan aluvial memberikan kerentanan terhadap deformasi, terutama di area yang berada di sepanjang jalur sesar. Sesar Lembang memiliki orientasi barat-timur dan berperan sebagai zona pelepasan energi tektonik, sehingga wilayah yang berdekatan dengan jalur sesar mengalami tekanan dan regangan yang lebih besar. Selain itu, keberadaan batuan lemah di area ini dapat memperkuat respons deformasi akibat aktivitas tektonik, khususnya pada wilayah dengan bentuk lahan curam atau lereng yang terjal.

Perbandingan Citra Sentinel 1 dan Terra-SAR X untuk Deformasi Wilayah

Peta deformasi Sentinel-1 memperlihatkan nilai deformasi berkisar antara -1,38735 hingga 0,0167658 meter/tahun, dengan sebagian besar wilayah menunjukkan tren penurunan tanah (subsiden). Aktivitas tektonik di sekitar jalur patahan terlihat memengaruhi distribusi deformasi, di mana area yang lebih



Gambar 4. Peta Deformasi Wilayah Kecamatan Cisarua Tahun 2018-2023

dekat dengan jalur patahan menunjukkan variasi deformasi yang lebih tinggi, baik berupa penurunan maupun kenaikan tanah. Hal ini mengindikasikan adanya dinamika geologi aktif di zona tersebut, serta menunjukkan bahwa pergerakan Sesar Lembang tidak bersifat seragam melainkan bervariasi mengikuti kondisi lokal.

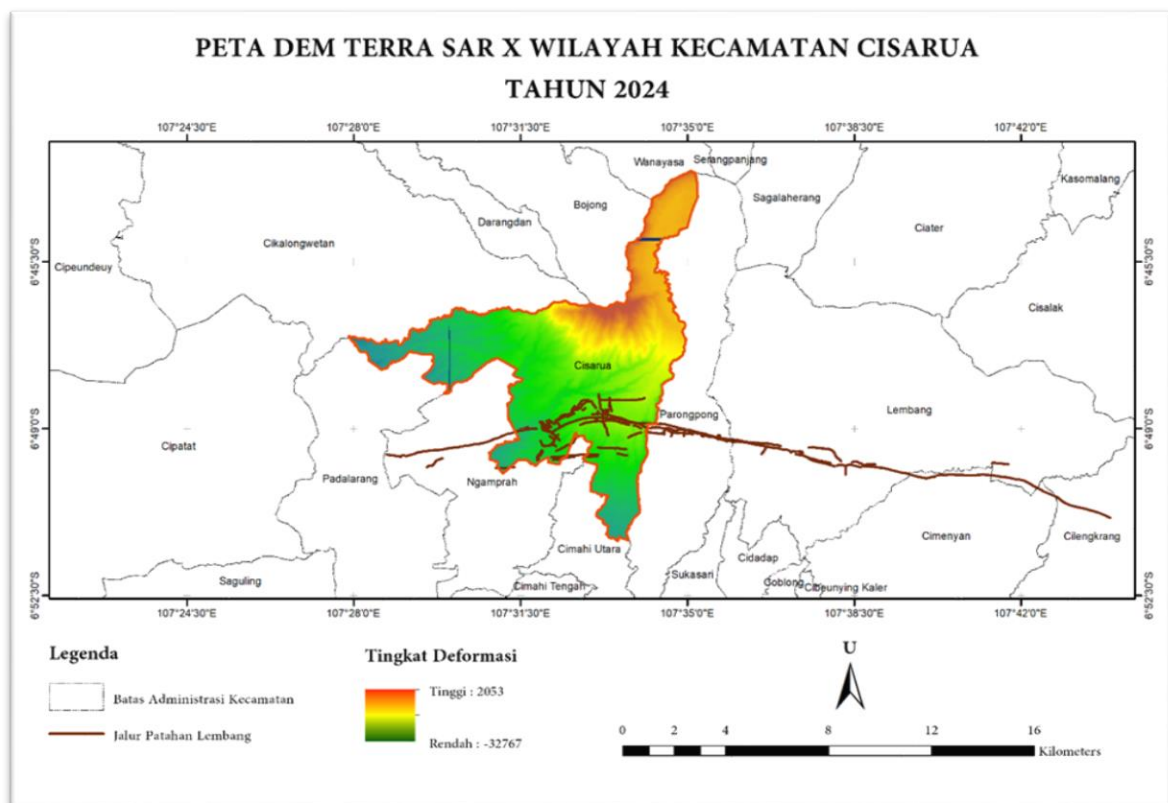
Peta DEM TerraSAR-X memberikan gambaran topografi wilayah dengan elevasi berkisar dari -32.767 hingga 2.052 mdpl. Jalur Patahan Lembang membentang di wilayah dengan gradien elevasi yang cukup tajam, yang menciptakan tekanan diferensial pada zona patahan. Area dengan gradien topografi yang signifikan cenderung berasosiasi dengan nilai deformasi yang lebih besar, terutama di sekitar Parongpong dan sebagian wilayah Cisarua. Sebaliknya, wilayah dengan topografi datar cenderung menunjukkan nilai deformasi yang lebih rendah. Korelasi ini menegaskan bahwa aktivitas tektonik di jalur patahan sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, sejalan dengan studi deformasi di wilayah patahan aktif lain yang menunjukkan keterkaitan erat antara gradien elevasi dan intensitas pergeseran tanah.

Hubungan antara deformasi dan topografi juga mengungkapkan potensi risiko geologi

yang perlu diwaspadai. Wilayah dengan kombinasi deformasi signifikan dan topografi curam memiliki kerentanan tinggi terhadap bencana geologi, seperti longsor atau keruntuhan tanah, terutama jika dipicu oleh hujan deras atau aktivitas seismik. Oleh karena itu, integrasi data deformasi Sentinel-1 yang memiliki cakupan temporal panjang dengan TerraSAR-X yang memberikan detail spasial tinggi menjadi sangat penting. Pendekatan multi-sensor ini tidak hanya memperkuat hasil analisis deformasi, tetapi juga membantu mengidentifikasi zona-zona kritis secara lebih akurat untuk mendukung mitigasi risiko bencana dan penyusunan kebijakan tata ruang di Kecamatan Cisarua.

Digital Terrain Model Kecamatan Cisarua

Pada hasil pengolahan DTM yang diperoleh dari UAV, terlihat jelas garis patahan yang memasuki wilayah Cisarua. Berdasarkan hasil analisis deformasi (Gambar 3), dapat diidentifikasi adanya tingkat deformasi yang signifikan pada Sesar Lembang, khususnya di bagian yang memasuki wilayah Cisarua. Fenomena ini terjadi akibat aktivitas Sesar Lembang yang terus bergerak. Aktivitas tersebut menyebabkan tekanan tektonik yang



Gambar 5. Peta DEM Terra SAR X Wilayah Kecamatan Cisarua Tahun 2024

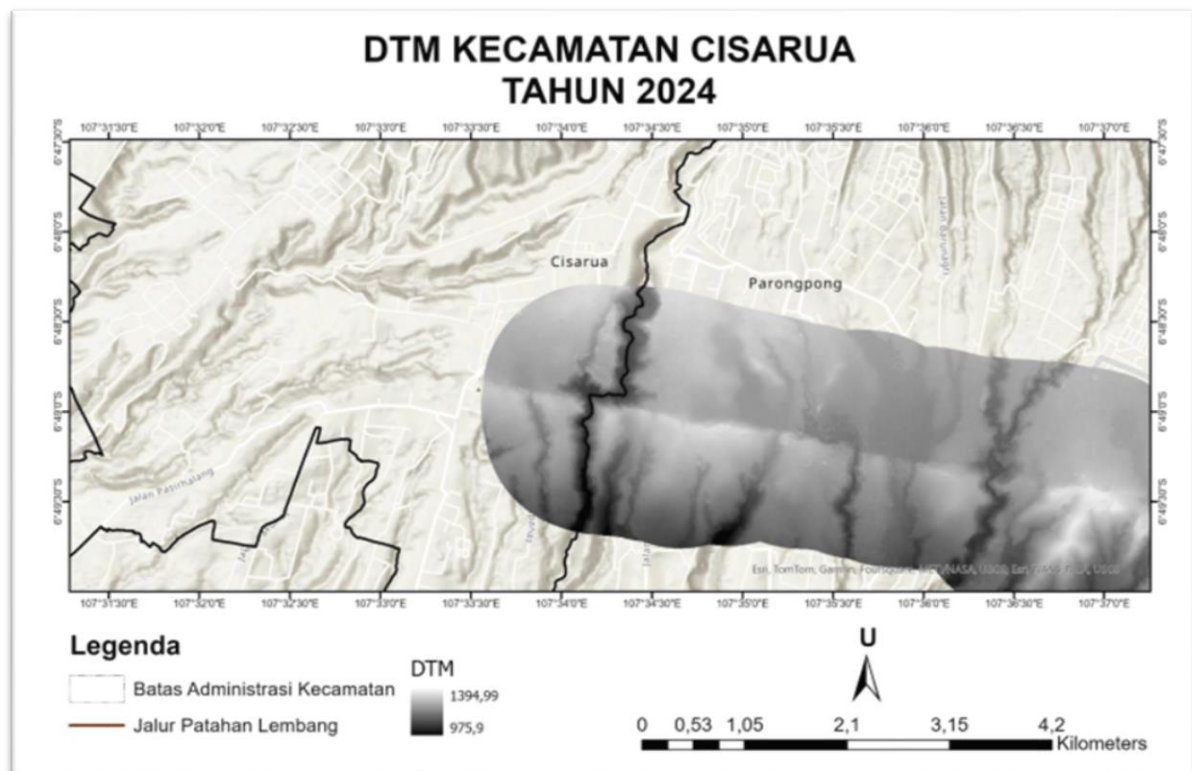
menghasilkan perubahan bentuk pada struktur permukaan tanah di sekitarnya. Deformasi ini dapat berupa pergeseran, retakan, atau bahkan perubahan elevasi permukaan yang terekam pada data DTM. Gerakan Sesar Lembang ini dipengaruhi oleh sifat aktif sesar tersebut, yang diketahui sebagai salah satu sesar aktif di wilayah Jawa Barat.

Berdasarkan data DTM yang dihasilkan, nilai ketinggian maksimum tercatat berada pada 1395 mdpl, sementara nilai minimum berada pada 975,9 meter. Perbedaan ketinggian yang signifikan ini mencerminkan adanya variasi topografi yang tajam di wilayah tersebut. Jika dianalisis lebih rinci, gradien topografi yang dihasilkan oleh aktivitas patahan Sesar Lembang terlihat cukup jelas. Hal ini ditandai oleh keberadaan dua gradien warna yang kontras pada hasil visualisasi DTM, yang menunjukkan perbedaan elevasi antara sisi-sisi patahan (Gambar 6). Kondisi ini menunjukkan pengaruh kuat aktivitas tektonik terhadap morfologi wilayah. Selaras dengan laporan Hidayat (2010) bahwa Sesar Lembang secara morfologi diekspresikan sebagai gawir sesar curam dengan dinding patahan yang jelas terlihat.

Gradien topografi Sesar Lembang mencerminkan perbedaan elevasi akibat pergerakan

vertikal dan horizontal dari Sesar Lembang. Pergerakan ini tidak hanya menunjukkan aktivitas tektonik yang dinamis, tetapi juga menjadi indikator perubahan struktur geologi yang signifikan. Garis patahan yang terbentuk diinterpretasikan sebagai batas antara dua blok yang mengalami pergeseran akibat tekanan tektonik. Lebih jauh, kombinasi antara deformasi signifikan dan perbedaan elevasi yang besar menandakan adanya kerentanan tinggi terhadap bencana longsor, terutama pada musim hujan atau saat terjadi aktivitas seismik.

Implikasi dari studi ini adalah pemetaan deformasi berbasis UAV dapat menjadi instrumen penting dalam mendukung upaya mitigasi bencana berbasis komunitas di Kecamatan Cisarua. Data spasial beresolusi tinggi yang dihasilkan dari UAV mampu memberikan gambaran detail mengenai pola deformasi dan perubahan morfologi permukaan tanah, sehingga informasi ini dapat dijadikan dasar untuk identifikasi zona-zona rawan bencana secara lebih akurat. Dengan demikian, masyarakat dan pemerintah daerah memperoleh pijakan yang lebih kuat dalam menyusun strategi mitigasi, termasuk dalam perencanaan tata ruang wilayah yang mempertimbangkan tingkat kerawanan geologi.



Gambar 6. Peta Digital Terrain Model Kecamatan Cisarua Tahun 2024

Lebih jauh, peta deformasi yang dihasilkan tidak hanya relevan untuk kepentingan akademis, tetapi juga sangat bermanfaat dalam konteks praktis, seperti penentuan lokasi prioritas evakuasi, pembangunan infrastruktur publik yang aman, serta penyusunan regulasi tata guna lahan. Informasi detail dari UAV juga dapat dipadukan dengan data deformasi hasil penginderaan jauh skala regional, seperti Sentinel-1 dan TerraSAR-X, sehingga menghasilkan pendekatan multi-skala yang komprehensif.

Selain itu, pelibatan komunitas lokal dalam proses pemetaan dan pemanfaatan hasilnya akan memperkuat kapasitas adaptasi masyarakat terhadap potensi gempa dan deformasi tektonik. Melalui penyediaan informasi spasial yang mudah dipahami, masyarakat dapat dilibatkan secara aktif dalam proses sosialisasi risiko, perencanaan evakuasi mandiri, hingga pengawasan kondisi lingkungan sekitar. Dengan demikian, pemetaan berbasis UAV bukan hanya menghasilkan data teknis, melainkan juga menjadi sarana pemberdayaan masyarakat agar lebih siap menghadapi potensi bencana.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa integrasi data UAV dalam pemantauan deformasi merupakan langkah strategis untuk menghubungkan sains dengan praktik kebencanaan. Keberadaannya dapat menjadi komponen kunci dalam sistem mitigasi bencana di tingkat lokal, sekaligus mendukung perencanaan pembangunan wilayah yang lebih berkelanjutan, aman, dan adaptif terhadap dinamika tektonik Sesar Lembang.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis, dapat disimpulkan bahwa deformasi di Kecamatan Cisarua dipengaruhi oleh aktivitas tektonik Sesar Lembang sebagai salah satu sesar aktif di Jawa Barat. Pada periode 2014–2018, deformasi tinggi terdeteksi di bagian utara dengan laju mencapai $-0,927$ m, yang dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal berupa endapan aluvial dan batuan vulkanik tua yang lebih lemah, sedangkan wilayah berbatuan keras cenderung lebih stabil.

Pada periode 2018–2023, pola deformasi bergeser dengan konsentrasi deformasi tinggi di bagian tengah dan selatan, terutama di area berdekatan dengan jalur utama sesar. Pola ini mengindikasikan peningkatan aktivitas tektonik

pada segmen Cisarua yang diperkuat oleh kondisi topografi curam, sehingga berpotensi memicu longsor maupun pergeseran tanah. Oleh karena itu, pemantauan deformasi secara berkala penting dilakukan untuk mendukung mitigasi risiko bencana dan perencanaan tata ruang yang lebih aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, R. P., Prasetyo, Y., & Awaluddin, M. (2018). Studi Sesar Lembang Menggunakan Citra Sentinel-1A untuk Pemantauan Potensi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(4), 304-313. <https://doi.org/10.14710/Jgundip.2018.22435>
- Azhari, M. F., Karyanto, Rasimeng, S., & Mulyanto, B. S. (2020). Analisis Deformasi Permukaan Menggunakan Metode DInSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) pada Studi Kasus Gempa Bumi Lombok Periode Agustus 2018. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 6(2), 131-144. <http://jge.eng.unila.ac.id/index.php/geoph/issue/view/8>
- Badan Informasi Geospasial [BIG]. (2024). Data Batas Administrasi Kecamatan dan Kabupaten Skala 1:25.000. Badan Informasi Geospasial. Diakses dari <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>
- Bakker, E., Pattilouw, S., Tanikwele, D., Tuhumury, D., Ayal, C., & Ulorlo, V. (2023). Korelasi Data Citra Satelit Radar dan Geologi untuk Analisis Deformasi Permukaan, Studi Kasus Gempa Ambon September 2019. *Jurnal Geosains dan Remote Sensing (JGRS)*, 4(1), 11–18. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2023.v4i1.100>
- Cyntia, C., & Pudja, I. P. (2018). Subsidence Analysis in DKI Jakarta using Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Method. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 2(3), 118–127. <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v2i3.48>
- Daryono. (2011). Identifikasi Sesar Naik Belakang Busur (Back Arc Thrust) Daerah Bali Berdasarkan Seismisitas dan Solusi Bidang Sesar. *Artikel Kebumihan, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. Diakses dari <https://www.academia.edu/>

- 28664716/Identifikasi_Sesar_Naik_Belakang_Busur_Back_Arc_Thrust_Daerah_Bali_Berdasarkan_Seismisitas_dan_Solusi_Bidang_Sesar
- Dwiakram, N., Amarrohman, F. J., & Prasetyo, Y. (2021). Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan DInSAR Tahun 2017 - 2020 (Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 269-276.
<https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.29752>
- European Space Agency [ESA]. (2025). Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. ESA Copernicus. Diakses dari <https://www.esa.int/>
- Hidayat, E. (2010). Analisis morfotektonik Sesar Lembang, Jawa Barat. *Jurnal Geologi Indonesia*, 18(2), 83–92.
- Hussain, E., Gunawan, E., Hanifa, N. R., & Zahro, Q. A. (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/egusphere-2022-1472>
- Massinai, M. A. (2015). *Geomorfologi Tektonik*. Yogyakarta: Pustaka Ilmu.



Copyright (c) 2025 by the authors. This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).