



Analisis Deformasi menggunakan DInSAR pada Gempa Bumi Blitar 10 April 2021 dan Kaitannya dengan Jenis Batuan

Desnata Pozya Adi Makara*

Program Studi Geologi, Departemen Geosains, FMIPA, Universitas Indonesia, Kota Depok 16424,
Indonesia

Abstrak

Gempa bumi sering terjadi di Indonesia akibat aktivitas tektonik di zona subduksi. Pada 10 April 2021, gempa berkekuatan 6,1 Mw mengguncang Kabupaten Blitar, menyebabkan kerusakan infrastruktur dan perubahan topografi yang signifikan. Penelitian ini menganalisis deformasi permukaan akibat gempa tersebut menggunakan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) dengan data satelit Sentinel-1, yang memungkinkan pemantauan perubahan elevasi tanah secara akurat. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh wilayah Kabupaten Blitar mengalami subsidensi dengan rentang deformasi antara -0,566 m hingga -0,357 m. Deformasi terbesar terdeteksi di daerah dengan litologi batuan vulkanik muda dan sedimen tidak terkonsolidasi yang rentan terhadap perubahan struktural akibat gempa. Jenis batuan dan kondisi tanah berperan dalam amplifikasi gelombang seismik dan risiko likuefaksi. Wilayah dengan batuan berpori tinggi mengalami pergeseran tanah lebih signifikan dibandingkan dengan daerah yang memiliki batuan lebih padat. Temuan ini memberikan wawasan penting untuk mitigasi bencana dan perencanaan infrastruktur tahan gempa. Selain itu, penelitian ini membuktikan bahwa metode DInSAR efektif dalam mendeteksi deformasi permukaan akibat aktivitas seismik dan dapat diterapkan dalam studi pemantauan risiko gempa di wilayah rawan bencana.

Kata kunci: Gempa bumi; DInSAR; deformasi permukaan; amplifikasi seismik; mitigasi bencana

Abstract

Earthquakes frequently occur in Indonesia due to tectonic activity in subduction zones. On April 10, 2021, a magnitude 6.1 earthquake struck Blitar Regency, causing significant infrastructure damage and topographic changes. This study analyzes surface deformation caused by the earthquake using the Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method with Sentinel-1 satellite data, enabling accurate monitoring of post-seismic ground elevation changes. The analysis shows that the entire Blitar Regency experienced subsidence with deformation ranging from -0.566 m to -0.357 m. The most significant deformation was detected in areas with young volcanic rocks and unconsolidated sediments, which are vulnerable to structural changes due to seismic activity. Local geological factors, such as rock type and soil conditions, influence seismic wave amplification and liquefaction risk. Areas with highly porous rocks experienced more significant ground displacement compared to regions with denser and more compact rocks. These findings provide valuable insights for disaster mitigation and earthquake-resistant infrastructure planning. Furthermore, this study demonstrates that the DInSAR method is effective in detecting surface deformation caused by seismic activity and can be applied to earthquake risk monitoring studies in disaster-prone regions.

Keywords: Earthquake; DInSAR; surface deformation; seismic amplification; disaster mitigation

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pergerakan tiba-tiba di dalam bumi (Sunarjo dkk., 2012). Sebagai salah satu bencana geologi yang sering

terjadi di Indonesia, gempa bumi terutama disebabkan oleh aktivitas tektonik di zona subduksi. Pada 10 April 2021, gempa berkekuatan 6.1 Mw mengguncang Kabupaten Blitar dan sekitarnya, menyebabkan kerusakan

* Korespondensi: desnata.pozya@ui.ac.id

Diajukan : 21 Februari 2025

Diterima : 21 April 2025

Diterbitkan : 29 Agustus 2025

signifikan pada infrastruktur dan bangunan. BPBD menaksir kerugian akibat gempa ini mencapai Rp 6,5 miliar. Fenomena ini menarik untuk dikaji lebih lanjut mengingat lokasi episentrum yang relatif jauh dari daerah terdampak utama. Pusat gempa terletak di laut, sekitar 96 km selatan Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur, dengan kedalaman 80 km. Guncangan gempa ini dirasakan hampir di seluruh provinsi Jawa Timur, DIY, sebagian Jawa Tengah, Bali, hingga NTB (Gambar 1) (Aida, 2021; Yunanto, 2021). Berdasarkan data dari BPBD Jawa Timur, setidaknya 16.541 unit rumah mengalami kerusakan, dengan rincian 8.968 rusak ringan, 5.160 rusak sedang, dan 2.413 rusak berat. Selain itu, terdapat 115 korban gempa, dengan 10 orang meninggal dunia, 97 luka ringan, 6 luka sedang, dan 2 luka berat (Liputan6.com, 2021).

Gempa bumi dengan kedalaman menengah (70-300 km) dapat menyebabkan kerusakan yang lebih luas dibandingkan dengan gempa dangkal, karena energi seismik dapat merambat lebih jauh dan lebih sedikit diserap oleh material di sekitarnya (Kkallas dkk., 2018a) Selain itu, faktor geologi juga berperan dalam amplifikasi gelombang seismik, yang meningkatkan potensi kerusakan di area tertentu (Kkallas dkk., 2018b; Stiros & Horsch, 2022). Sebagai contoh, pola kerusakan anomali pernah terjadi di Laut Aegea, di mana gempa besar yang terasa ringan di sekitar episentrum ternyata merusak wilayah yang jauh lebih luas (Kkallas dkk., 2018a; Kkallas dkk., 2018b)

Dalam konteks Blitar, kondisi geologi lokal yang didominasi oleh batuan lunak atau sedimen yang tidak terkonsolidasi dapat memperburuk dampak gempa. Oleh karena itu, penting untuk memahami stratigrafi regional dari wilayah ini. Berdasarkan peta geologi Lembar Jawa Bagian Timur dan Lembar Blitar (Sjarifudin & Hamidi, 1992), wilayah penelitian memiliki stratigrafi yang kompleks yang terdiri dari batuan sedimen gamping, hasil letusan gunungapi, dan batuan beku intrusif. Terdapat 14 jenis litologi di daerah ini (Gambar 2), dengan urutan dari tua ke muda sebagai berikut:

- Formasi Mandalika (Tomm)
Merupakan satuan batuan vulkanik tua, tersusun atas breksi andesit, lava, dan tuf yang telah mengalami pelapukan dan rekristalisasi.
- Batuan Terobosan (Tomi)

Batuan beku intrusif berupa andesit dan diorit yang menerobos Formasi Mandalika. Ciri khasnya adalah struktur masif dan kristalin.

- Anggota Tufa Formasi Mandalika (Tomt)
Tersusun oleh tufa halus hingga kasar yang berasal dari aktivitas vulkanisme eksplosif, bersifat lapuk dan lepas-lepas.
- Formasi Campur Darat (Tmcl)
Merupakan satuan batuan sedimen gampingan, terdiri atas batugamping, napal, dan sisipan tuf, menunjukkan lingkungan laut dangkal.
- Formasi Nampol (Tmn)
Terdiri dari breksi, lava andesit, dan tuf. Umumnya bersifat lebih keras dan terubah secara hidrotermal.
- Formasi Wuni (Tmw)
Satuan vulkanik yang terdiri atas lava andesit dan basal dengan sisipan breksi, menunjukkan aktivitas gunungapi Kuartar awal.
- Formasi Wonosari (Tmw1)
Tersusun oleh batugamping terumbu dan batugamping klastik, mencirikan lingkungan laut dangkal hingga laguna.
- Endapan Gunungapi Kawi-Butak (Qpkb)
Batuan piroklastik berupa tuf, breksi, dan lava dari aktivitas Gunung Kawi dan Gunung Butak, umumnya bersifat lapuk dan tidak terkonsolidasi.
- Lava Andesit Parasit (Qlk)
Berupa aliran lava andesit dari kerucut parasit sekitar Gunung Kelud, bersifat keras dan masif.
- Batuan Gunungapi Kelud Tua (Qpvk)
Breksi dan lava andesit dari aktivitas awal Gunung Kelud, umumnya menunjukkan pelapukan lanjut.
- Gunungapi Muda Parasitic (Qhvp)
Material vulkanik dari kerucut-kerucut kecil sekunder di sekitar Gunung Kelud, terdiri dari tufa dan lapili.
- Endapan Gunungapi Kelud (Qvk)
Endapan piroklastik segar dari erupsi Gunung Kelud terbaru, didominasi oleh lapili, abu vulkanik, dan lahar.
- Endapan Lahar (Qvlh)
Campuran material piroklastik, pasir, kerikil, dan bongkah, disebarkan oleh aliran lahar pasca-erupsi.
- Aluvium (Qa)
Endapan kuartar termuda yang terdiri atas pasir, lempung, dan kerikil dari proses

sedimentasi sungai, umumnya bersifat sangat lunak dan tidak terkonsolidasi.

Amplifikasi gelombang seismik terjadi ketika gelombang yang dihasilkan oleh gempa bumi melewati lapisan batuan lunak atau sedimen yang tidak terkonsolidasi. Batuan lunak, seperti tanah liat atau pasir, memiliki elastisitas dan densitas yang lebih rendah dibandingkan batuan keras, yang dapat memperkuat gelombang seismik saat bergerak melaluinya. Proses ini menyebabkan gelombang mengalami peningkatan amplitudo dan durasi, sehingga dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada struktur bangunan di permukaan.

Faktor seperti ketebalan dan jenis material sedimen, serta frekuensi gelombang seismik, turut memengaruhi tingkat amplifikasi. Beberapa studi menunjukkan bahwa batuan lunak cenderung memperkuat gelombang seismik. Penelitian di Amlapura, Bali, misalnya, mengungkapkan bahwa ketebalan sedimen lunak yang bervariasi dapat meningkatkan kerentanan terhadap gempa, dengan potensi likuefaksi dan kerusakan bangunan yang lebih besar pada percepatan tanah puncak (PGA) tertentu (Robiana & Cipta, 2021). Penelitian lainnya di Jakarta juga menyoroti pentingnya karakteristik geologi lokal dalam memetakan zonasi bahaya gempa, dengan analisis respons dinamik tanah yang menunjukkan bahwa area dengan sedimen lunak memiliki potensi amplifikasi yang lebih tinggi (Delfebriyadi dkk., 2017). Temuan-temuan ini mendukung argumen bahwa kondisi geologi lokal dapat memengaruhi dampak dari guncangan gempa.

Dalam konteks Blitar, kondisi geologi lokal yang didominasi oleh batuan lunak atau sedimen yang tidak terkonsolidasi dapat memperburuk dampak gempa. Amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar di daerah tersebut berpotensi menyebabkan deformasi tanah yang lebih signifikan dan kerusakan pada infrastruktur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait perubahan permukaan dengan pendekatan DInSAR dalam memantau deformasi akibat gempa Blitar pada 10 April 2021.

Penggunaan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) menjadi sangat relevan dalam studi ini karena mampu mendeteksi deformasi permukaan tanah dengan presisi tinggi dalam skala spasial

yang luas, tanpa perlu kontak langsung dengan wilayah terdampak. DInSAR memungkinkan identifikasi pergeseran vertikal maupun horizontal pada permukaan bumi pasca-gempa, yang sering kali tidak dapat teramati langsung di lapangan (Massonnet & Feigl, 1998). Selain itu, metode ini dapat memberikan informasi kuantitatif mengenai pola deformasi yang terjadi, sehingga sangat bermanfaat dalam mengkaji hubungan antara kondisi geologi lokal dengan tingkat kerusakan (Ferretti dkk., 2001a). DInSAR juga unggul dari sisi efisiensi biaya dan waktu dalam pemantauan area yang sulit dijangkau atau berbahaya pasca-bencana (Burgmann dkk., 2000). Oleh karena itu, metode ini menjadi alat penting dalam mendukung analisis kerentanan dan perencanaan mitigasi risiko bencana secara lebih akurat dan berkelanjutan.

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengkaji hubungan antara jenis batuan di daerah tersebut dengan tingkat kerusakan yang terjadi. Dengan mengintegrasikan analisis geologi dan pemantauan deformasi permukaan, diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi penting bagi pemahaman tentang mitigasi risiko bencana gempa di daerah rawan serta mendukung perencanaan pembangunan yang lebih tahan gempa di masa depan.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Studi ini mengkaji Kabupaten Blitar, yang merupakan salah satu daerah yang terdampak gempa pada 10 April 2021 dengan Magnitudo 6.1 (Gambar 1). Pusat gempa berada pada koordinat $8.56^{\circ}\text{LS}-112.48^{\circ}\text{BT}$ pada kedalaman 80 km. Gempa tersebut menyebabkan guncangan di berbagai wilayah, dengan intensitas gempa yang tercatat dalam kisaran V-VI pada skala Mercalli Modified Intensity (MMI) (Supendi dkk., 2021). Kabupaten Blitar dipilih sebagai lokasi penelitian karena wilayah ini mengalami dampak yang cukup signifikan, baik secara kerusakan fisik, kerentanan masyarakat, maupun faktor geologis yang memengaruhi penyebaran guncangan.

Gambar 1 menampilkan peta administrasi Kabupaten Blitar yang terdiri dari 22 kecamatan, dengan warna berbeda untuk tiap kecamatan. Lokasi episentrum gempa ditandai dengan simbol bintang merah di bagian selatan peta. Sementara itu, inset peta di kanan bawah menunjukkan posisi regional episentrum terhadap Lempeng Indo-Australia dan Eurasia, memberikan konteks

tektonik kejadian gempa. Lokasi fokus penelitian, yaitu seluruh wilayah Kabupaten Blitar, secara visual ditampilkan dengan batas administrasi kabupaten dan pembagian kecamatan, membantu mengidentifikasi lokasi dengan lebih rinci.

Data

Citra Satelit Sentinel-1

Deformasi permukaan dapat dipantau dan dianalisis dengan berbagai metode, salah satunya adalah menggunakan teknologi penginderaan jauh seperti *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Nyoman Sudi Parwata & Osawa, 2021). Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-1 dari European Space Agency (ESA) yang dapat diakses dari database Copernicus atau melalui <https://asf.alaska.edu/>. Data citra yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 1.

Deteksi Deformasi Permukaan dengan Metode DInSAR

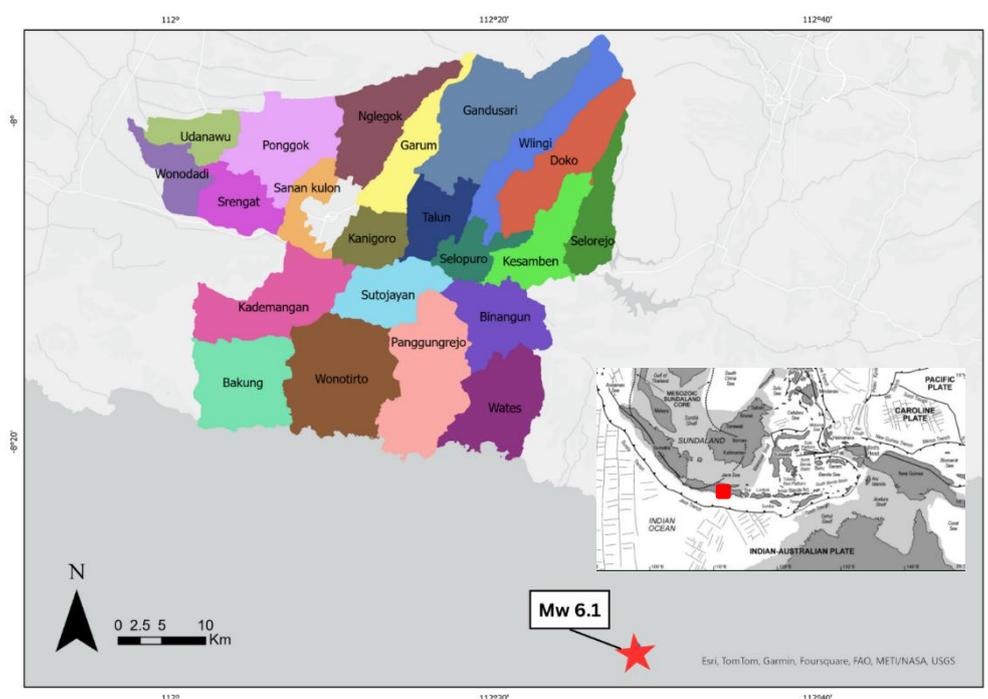
Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh untuk mendeteksi deformasi permukaan bumi. Teknologi ini menggunakan sinyal radar yang dipantulkan dari

satelit pengorbit untuk mendeteksi perubahan pada permukaan bumi (Galloway & Hoffmann, 2007). Metode ini memanfaatkan citra radar dari satelit untuk menghasilkan interferogram, yang kemudian dianalisis untuk mengukur perubahan posisi permukaan akibat berbagai fenomena geologi, seperti gempa bumi dan aktivitas vulkanik (Alimuddin dkk., 2011; Hasni dkk., 2024).

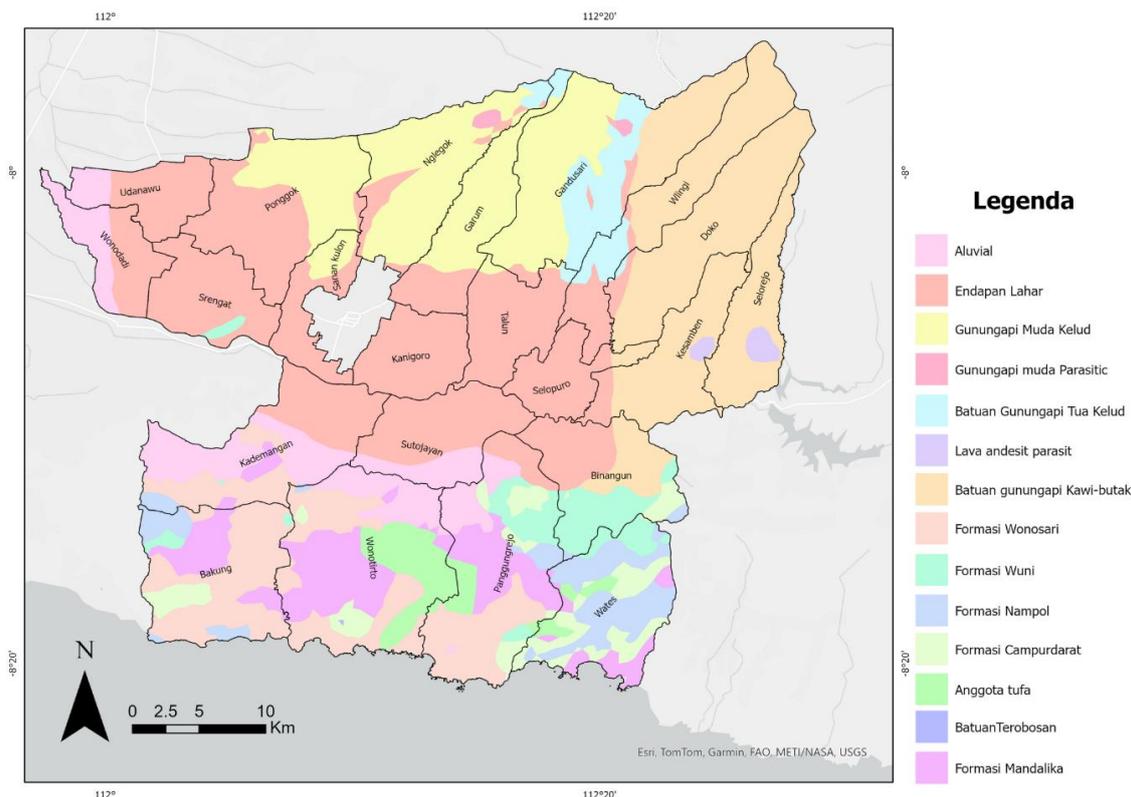
Teknik DInSAR memerlukan pasangan citra satelit SAR yang diakuisisi dalam posisi dan waktu yang berbeda. Dalam penelitian ini, citra yang diambil pada tanggal 29 Maret 2021 dianggap sebagai *master* dan citra yang diakuisisi tanggal 22 April 2021 disebut *slave* (Gambar 3).

Tabel 1. Citra satelit Sentinel-1 yang digunakan

Citra	Akuisisi
S1B_IW_SLC_1SSV_20210329T105726_20210329T105755_026_228_03215E_E086	29 Maret 2021
S1B_IW_SLC_1SSV_20210422T105727_20210422T105756_026_578_032C89_6033	22 April 2021



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Sebaran litologi daerah penelitian (Modifikasi, Sjarifuddin & Hamidi, 1992)

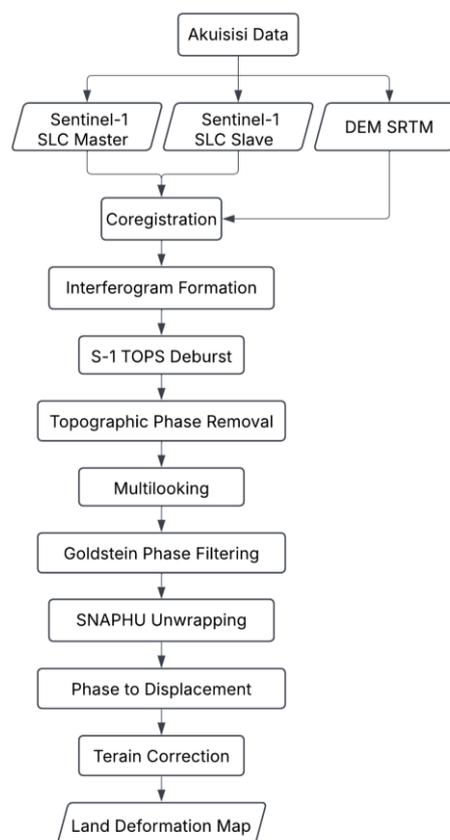
HASIL DAN PEMBAHASAN

Deformasi Permukaan

Analisis DInSAR menggunakan citra Sentinel-1 mengungkap adanya perubahan permukaan tanah di Kabupaten Blitar akibat gempa pada 10 April 2021. Hasilnya menunjukkan bahwa seluruh area penelitian mengalami penurunan tanah (*subsidence*) dengan kisaran antara -0.566 m hingga -0.357 m (Gambar 4). Penurunan ini paling dominan terjadi di wilayah selatan hingga tengah, yang berdekatan dengan pusat gempa. Namun, beberapa titik di bagian utara Kabupaten Blitar juga mengalami penurunan tanah yang cukup signifikan. Rincian deformasi minimum, maksimum, dan rata-rata di setiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 2, yang disusun berdasarkan nilai subsidensi paling negatif.

Hubungan antara Deformasi Permukaan dan Litologi

Analisis deformasi permukaan akibat gempa 10 April 2021 di Kabupaten Blitar menunjukkan bahwa seluruh litologi di wilayah penelitian mengalami subsidensi dengan tingkat penurunan yang bervariasi. Berdasarkan data deformasi (Tabel 3), litologi dengan penurunan terbesar adalah Gunungapi Muda Kelud (-0.566 m), yang



Gambar 3. Workflow DInSAR dengan software SNAP

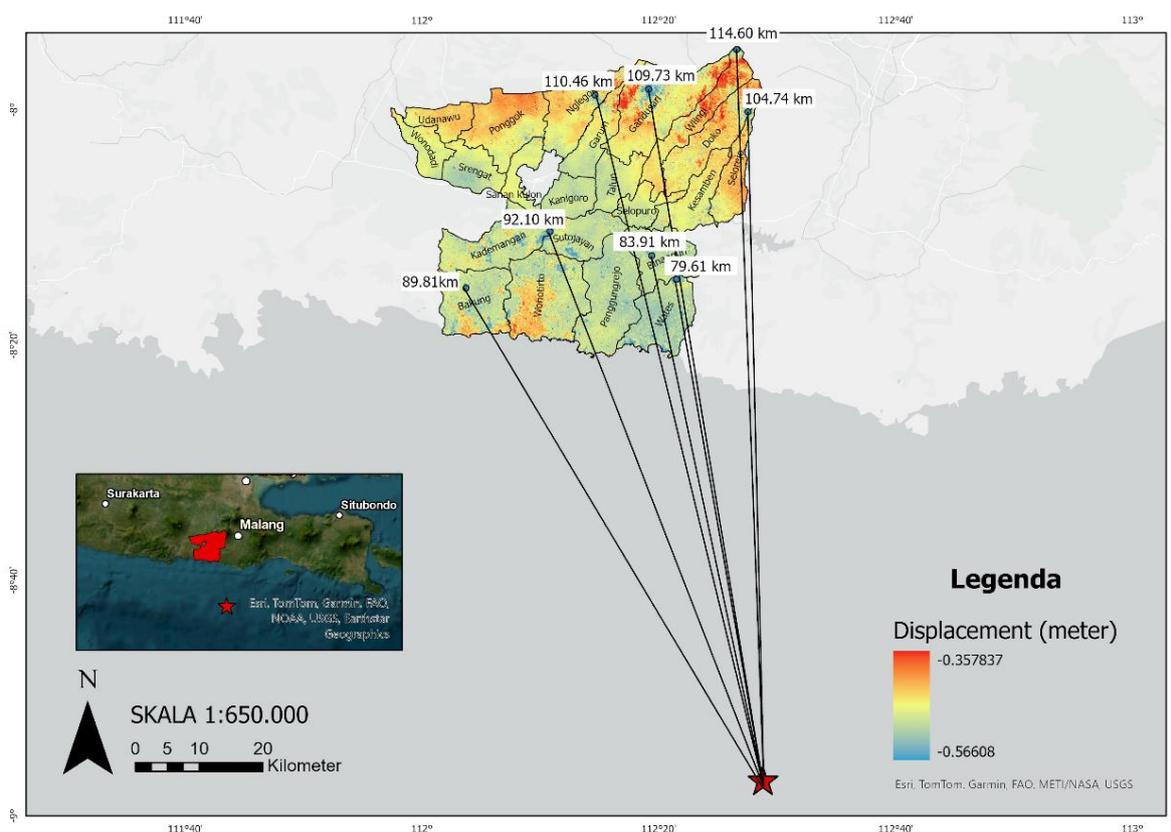
Tabel 2. Deformasi pada tiap kecamatan di Kabupaten Blitar

Kecamatan	Min (m)	Maks (m)	Rata-rata (m)
Gandusari	-0.566	-0.361	-0.450
Wlingi	-0.554	-0.358	-0.439
Wates	-0.544	-0.410	-0.475
Panggungrejo	-0.537	-0.401	-0.469
Kademangan	-0.536	-0.403	-0.465
Sutojayan	-0.530	-0.398	-0.468
Binangun	-0.530	-0.417	-0.469
Bakung	-0.529	-0.393	-0.465
Wonotirto	-0.528	-0.364	-0.459
Nglegok	-0.524	-0.382	-0.448
Doko	-0.522	-0.367	-0.446
Srengat	-0.522	-0.416	-0.465
Ponggok	-0.518	-0.390	-0.443
Selorejo	-0.516	-0.382	-0.444
Garum	-0.510	-0.375	-0.456
Kesamben	-0.510	-0.395	-0.454
Selopuro	-0.509	-0.404	-0.460
Talun	-0.507	-0.405	-0.462
Sanan kulon	-0.505	-0.405	-0.458
Kanigoro	-0.505	-0.430	-0.467
Wonodadi	-0.495	-0.412	-0.457
Udanawu	-0.494	-0.399	-0.443

tersebar di beberapa kecamatan seperti Nglegok dan Gandusari, yang masing-masing terletak sekitar 110,46km dan 109,73km di utara dari episentrum gempa. Fenomena ini mengindikasikan bahwa deformasi signifikan dapat terjadi meskipun pada jarak yang cukup jauh dari pusat gempa, sebagaimana juga terlihat pada litologi Gunungapi Kawi-Butak mengalami deformasi sebesar -0,553 m, dengan sebaran utama di wilayah Kecamatan Wlingi dan Doko, yang berada pada jarak 114,60 km dan 104,74 km di utara episentrum. Selain itu, Formasi Campurdarat juga mengalami penurunan yang cukup besar sebesar -0,543 m. Di sisi lain, litologi dengan penurunan paling kecil tercatat pada Batuan Terobosan (-0,450 m) dan Lava Andesit Parasitik (-0,503 m). Secara keseluruhan, rentang

deformasi maksimum berkisar antara -0,566 m hingga -0,357 m, yang menunjukkan bahwa seluruh wilayah mengalami penurunan permukaan tanah akibat aktivitas seismik, meskipun berada pada radius yang cukup jauh dari sumber gempa. Fenomena ini memperkuat pentingnya mempertimbangkan faktor geologi lokal dalam memetakan dampak gempa, karena litologi dan kondisi geologi setempat dapat memengaruhi besarnya deformasi meskipun intensitas guncangan tidak berada pada level maksimum.

Pemahaman mengenai deformasi bervariasi antar litologi, perlu ditinjau sifat fisik dan mekanik masing-masing batuan. Litologi yang tersusun dari material vulkanik lepas, seperti endapan lahar dan batuan gunungapi muda,



Gambar 4. Peta deformasi permukaan dari analisis DInSAR akibat gempa 10 April 2021 dan jarak beberapa titik terhadap episentrum gempa

umumnya lebih rentan terhadap deformasi dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak, seperti batuan terobosan (Febriarta dkk., 2022; Raja dkk., 2020). Material vulkanik lepas memiliki porositas dan permeabilitas yang lebih tinggi serta tingkat sementasi yang rendah, sehingga lebih mudah mengalami pemadatan dan pergeseran vertikal saat menerima gaya seismik. Selain itu, nilai rata-rata *displacement* menunjukkan bahwa sebagian besar litologi memiliki tingkat subsidensi yang relatif seragam, dengan kisaran antara -0.434 m hingga -0.471 m. Hal ini menegaskan bahwa karakteristik batuan berperan penting dalam menentukan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap deformasi akibat gempa.

Meskipun demikian, keseragaman nilai subsidensi tidak dapat langsung diartikan bahwa semua jenis batuan mengalami tingkat deformasi yang identik secara mekanistik. Batuan terobosan yang memiliki karakteristik fisik lebih kompak, dengan porositas dan permeabilitas yang rendah, secara teoritis memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap pemadatan vertikal. Oleh karena itu, interpretasi deformasi berbasis data pengamatan

satelit harus disertai validasi geologi lapangan untuk menghindari bias spasial. Hal ini menunjukkan adanya keterbatasan resolusi data dalam membedakan respons deformasi antar litologi secara rinci (Crosetto dkk., 2016; Ferretti dkk., 2001b)

Selain itu, batuan terobosan tetap dapat mengalami subsidensi melalui mekanisme yang berbeda, seperti pembentukan retakan mikro akibat energi seismik atau penurunan blok secara struktural pada area yang terdeformasi secara regional (Wang & Fialko, 2014). Oleh karena itu, subsidensi yang terekam pada batuan terobosan tidak selalu disebabkan oleh pemadatan pori seperti pada batuan vulkanik lepas, melainkan oleh deformasi struktural yang tetap menghasilkan pergeseran vertikal.

Dengan demikian, nilai subsidensi yang seragam tidak serta-merta mencerminkan kerentanan yang seragam pula. Interpretasi semacam ini memerlukan kehati-hatian, dengan mempertimbangkan baik keterbatasan data pengamatan maupun perbedaan mekanisme deformasi antar jenis batuan. Pendekatan integratif yang menggabungkan data litologi,

Tabel 3. Deformasi permukaan wilayah penelitian berdasarkan litologi

Litologi	Min (m)	Maks (m)	Rata-rata (m)
Gunungapi Muda Kelud	-0.566	-0.361	-0.448
Batuan gunungapi Kawi-butak	-0.554	-0.358	-0.446
Formasi Campurdarat	-0.544	-0.390	-0.468
Formasi Wuni	-0.544	-0.413	-0.469
Formasi Mandalika	-0.537	-0.389	-0.463
Formasi Nampol	-0.535	-0.405	-0.471
Aluvial	-0.533	-0.398	-0.464
Endapan Lahar	-0.533	-0.394	-0.460
Formasi Wonosari	-0.528	-0.364	-0.464
Batuan Gunungapi Tua Kelud	-0.515	-0.378	-0.451
Anggota tufa	-0.512	-0.402	-0.466
Lava andesit parasit	-0.503	-0.396	-0.441
Gunungapi muda Parasitic	-0.501	-0.396	-0.448
Batuan Terobosan	-0.451	-0.407	-0.434

struktur geologi, dan resolusi spasial data *displacement* sangat diperlukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih akurat mengenai dinamika deformasi di wilayah terdampak.

Tingginya nilai deformasi negatif pada Gunungapi Muda Kelud, Gunungapi Kawi-Butak, dan Formasi Campurdarat dapat dijelaskan melalui sifat fisik dan mekanik batuan penyusunnya. Secara umum, batuan gunungapi muda seperti yang ditemukan di Kelud dan Kawi-Butak tersusun atas breksi, lava, dan tuf dengan komposisi andesit hingga basalt. Batuan ini memiliki struktur yang relatif berpori dengan tingkat permeabilitas dan tingkat sementasi rendah, yang membuatnya lebih rentan terhadap deformasi saat terjadi aktivitas seismik (Kamal dkk., 2023).

Berbeda dengan batuan vulkanik muda, Formasi Campurdarat memiliki komposisi karbonat yang meskipun lebih padat, rentan mengalami pelapukan dan pembentukan rekahan yang meningkatkan porositas sekundernya. Kondisi ini menyebabkan batuan karbonat dalam formasi tersebut menjadi lebih rentan terhadap penurunan muka tanah (*subsidence*) saat terjadi gempa, terutama di daerah yang telah mengalami proses pelapukan lanjut. Dengan demikian,

kombinasi antara komposisi mineral, struktur internal, dan tingkat pelapukan batuan pada litologi-litologi tersebut berkontribusi terhadap tingginya tingkat deformasi negatif yang diamati dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkap bahwa gempa Blitar 10 April 2021 dengan magnitudo 6.1 menyebabkan deformasi permukaan yang signifikan, terutama pada daerah dengan litologi batuan lunak dan sedimen tidak terkonsolidasi. Analisis DInSAR menunjukkan adanya pola deformasi yang berhubungan dengan karakteristik geologi setempat, di mana wilayah dengan batuan vulkanik dan sedimen kuartar menunjukkan tingkat deformasi yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa faktor geologi memainkan peran penting dalam memperkuat dampak gempa, melalui mekanisme amplifikasi gelombang seismik dan likuefaksi. Temuan ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan mitigasi bencana dan pembangunan infrastruktur tahan gempa di daerah rawan. Selain itu, penggunaan metode DInSAR terbukti efektif dalam memantau deformasi tanah akibat gempa, sehingga dapat

diterapkan dalam studi seismotektonik dan mitigasi risiko di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, N. R. (2021, April 10). *Gempa Magnitudo 6,7 Guncang Malang, Berikut Wilayah yang Ikut Merasakan*. Kompas.com. <https://www.kompas.com/tren/read/2021/04/10/144328365/gempa-magnitudo-67-guncang-malang-berikut-wilayah-yang-ikut-merasakan>
- Alimuddin, I., Bayuaji, L., Sri Sumantyo, J. T., & Kuze, H. (2011). Surface deformation monitoring of Miyakejima volcano using DInSAR technique of ALOS PALSAR images. *2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1615–1618. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049540>
- Burgmann, R., Rosen, P., & Fielding, E. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry to Measure Earth's Surface Topography and Its Deformation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28, 169–209. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.28.1.169>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B. (2016). Persistent Scatterer Interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- Delfebriyadi, Irsyam, M., Hutapea, B. M., Imran, I., & Asrurifak. (2017). *Zonasi Hazard Gempa Bumi untuk Wilayah Jakarta*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:134107467>
- Febriarta, E., Vienastra, S., Dipayana, G. A., Sitompul, Z., & Larasati, A. (2022). Kajian Potensi Air Tanah pada Formasi Vulkanik di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 240–249. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.4716>
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001a). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 8–20. <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001b). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(1), 8–20. <https://doi.org/10.1109/36.898661>
- Galloway, D., & Hoffmann, J. (2007). The application of satellite differential SAR interferometry-derived ground displacements in hydrogeology. *Hydrogeology Journal*, 15. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0121-5>
- Hasni, K., Miloudi, S. F.-Z., Housseyn Allal, S., & Dekkiche, H. (2024). SAR Observation Data-Driven Geohazard Monitoring in Algeria: Utilizing DInSAR and MT-InSAR Techniques. *2024 IEEE Mediterranean and Middle-East Geoscience and Remote Sensing Symposium (M2GARSS)*, 356–360. <https://doi.org/10.1109/M2GARSS57310.2024.10537361>
- Kamal, Y. A., Widyawati, R., & Despa, D. (2023). Tinjauan Deformasi Terowongan Bendungan Way Apu berdasarkan Kajian Seismik Refraksi, Petrografi, XRD dan Face Mapping RMR. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 3(2). <https://doi.org/10.23960/snip.v3i2.498>
- Kkallas, Ch., Papazachos, C. B., Boore, D., Ventouzi, Ch., & Margaris, B. N. (2018a). Historical intermediate-depth earthquakes in the southern Aegean Sea Benioff zone: modeling their anomalous macroseismic patterns with stochastic ground-motion simulations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(11), 5121–5150. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0342-8>
- Kkallas, Ch., Papazachos, C., Skarlatoudis, A. A., Chrysanthi, Ventouzi, Boore, D. M., & Margaris, B. (2018b). *EXPLAINING THE ANOMALOUS DAMAGE PATTERN OF LARGE (M7+) INTERMEDIATE-DEPTH EARTHQUAKES IN THE SOUTHERN AEGEAN SEA*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:204782505>
- Liputan6.com. (2021, April 30). *Update Korban Gempa Malang: 10 Orang Meninggal, 2 Luka Berat dan 97 Luka Ringan*. <https://www.liputan6.com/surabaya/read/4546440/update-korban-gempa-malang-10-orang-meninggal-2-luka-berat-dan-97-luka-ringan?page=2>
- Massonnet, D., & Feigl, K. L. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Reviews of Geophysics*, 36(4), 441–500. <https://doi.org/10.1029/97RG03139>

- Nyoman Sudi Parwata, I., & Osawa, T. (2021). Surface Deformation Monitoring Induced by Volcanic Activity of Mount Agung, Indonesia, by PS-InSAR Using Sentinel-1 SAR from 2014-2021. *2021 7th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/APSAR52370.2021.9688489>
- Raja, D. L., Sukiyah, E., Sulaksana, N., & Endyana, C. (2020). PERANAN LITOLOGI TERHADAP EROSI PADA DAS CIMANUK BAGIAN HULU. *JURNAL GEOMINERBA (JURNAL GEOLOGI, MINERAL DAN BATUBARA)*, 5(2), 121–126. <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v5i2.71>
- Robiana, R., & Cipta, A. (2021). Potensi Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Kondisi Tapak Lokal di Daerah Amlapura, Karangasem, Bali. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(3). <https://doi.org/10.34126/jlbg.v12i3.372>
- Sjarifudin, M.Z. and S. Hamidi, 1992. Geologi Lembar Blitar, Jawa, skala. 1:100,000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Stiros, S., & Horsch, G. (2022). A Note on the Impacts of the 1810 Seismic Sequence on Crete. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 59(1), 104–117. <https://doi.org/10.12681/bgsg.29122>
- Sunarjo, Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2012). *Gempa Bumi Indonesia Edisi Populer* (2 ed.). Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Supendi, P., Daryono, Gunawan, M. T., Rohadi, S., & Prayitno, B. S. (2021). *ANALISIS GEMPABUMI SELATAN JAWA TIMUR (M 6.1) 10 APRIL 2021* .
- Wang, K., & Fialko, Y. (2014). Space geodetic observations and models of postseismic deformation due to the 2005 *M* 7.6 Kashmir (Pakistan) earthquake. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119(9), 7306–7318. <https://doi.org/10.1002/2014JB011122>
- Yunanto, R. (2021, April 10). *Gempa Bumi di Malang Dirasakan Hingga Bali dan NTB*. ntb.inews.id. <https://ntb.inews.id/berita/gempa-bumi-di-malang-dirasakan-hingga-bali-dan-ntb>