

Analisa dan Deteksi Deformasi Permukaan Tanah Berupa Longsor dan Retakan pada Wilayah Ponorogo Menggunakan Data Sentinel-1A

Analysis and Detection of Land Surface Deformation in The Form Of Landslides and Cracks in The Ponorogo Region Using Sentinel-1A Data

Mochamad Mussoddaq^{1*}, Sungkono²

¹Teknik Lingkungan, UPN Veteran, Yogyakarta, Indonesia

²Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia

[*Mochamad.mussoddaq@upnyk.ac.id](mailto:Mochamad.mussoddaq@upnyk.ac.id)

Diterima: 08 Agustus 2023; Disetujui: 18 Oktober 2023

DOI: [10.30598/tanahgoyang.1.2.118-127](https://doi.org/10.30598/tanahgoyang.1.2.118-127)

<p>Kata Kunci:</p> <p>Longsor Deformasi Permukaan Sentinel-1A DinSAR</p>	<p>Abstrak</p> <p>Salah satu bencana yang sering terjadi di daerah Ponorogo, Jawa Timur adalah longsor. Peristiwa longsor di daerah ponorogo ini dapat diakibatkan oleh dari gerakan massa tanah, batuan, atau kombinasinya. Untuk meminimalisasi dampak bencana tanah longsor, maka harus dilakukan upaya pengurangan risiko bencana berupa memetakan zona yang berpotensi longsor atau dengan mengetahui karakteristik dari penyebab longsor yang terjadi, sehingga dapat meminimalisir dampak yang terjadi. Pada Longsor yang telah terjadi di daerah Ponorogo mengakibatkan beberapa infrastruktur yang berupa jalan raya, mushola, sekolahan, puskesmas, dan rumah penduduk (58 rumah) di Desa Tugurejo, Kec. Slahung, Ponorogo, mengalami retak-ratak dengan jalur retakan membentuk pola tertentu. Pola retakan ini perlu diketahui penyebabnya. Identifikasi longsor ini dilakukan Menggunakan Citra Sentinel-1a. Untuk mendeteksi deformasi permukaan akibat longsor, dalam penelitian ini digunakan 6 citra SAR yang merekam target untuk lokasi yang sama pada waktu yang berbeda, yaitu sesudah dan sebelum terjadi longsor. Hasil analisa DinSAR dibandingkan dengan peta geologi menunjukkan bahwa daerah yang telah mengalami longsor dan pergerakan tanah adalah daerah yang memiliki satuan litologi breksi pasir. Jenis litologi ini merupakan kelompok batuan sedimen sehingga paling mudah terkikis dan terombak ketika dilewati oleh aliran air. Selain itu, pergerakan tanah ini mengakibatkan retakan pada tanah yang berkorelasi dengan nilai resistivitas rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa retakan tersebut terisi fluida.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Landslide Surface Deformation Sentinel-1A DinSAR</p>	<p>Abstract</p> <p>One of the most common disasters in Ponorogo, East Java is landslides. Landslide events in the ponorogo area can be caused by the movement of soil masses, rocks, or a combination thereof. To minimize the impact of landslides, disaster risk reduction efforts must be made in the form of mapping potential landslide zones or by knowing the characteristics of the causes of landslides that occur, so as to minimize the impact that occurs. Landslides that have occurred in the Ponorogo area resulted in several infrastructures in the form of roads, mosques, schools, health centers, and houses (58 houses) in Tugurejo Village, Slahung Subdistrict, Ponorogo, experiencing cracks with the path of the cracks forming a certain pattern. This pattern of cracks needs to be identified. This landslide identification was conducted using Sentinel-1a imagery. To detect surface deformation due to landslide, this study used 6 SAR images that recorded the target for the same location at different times, namely after and before the landslide. The results of the DinSAR analysis compared</p>

to the geologic map show that the areas that have experienced landslides and ground movements are areas that have passive breccia lithological units. This type of lithology is a group of sedimentary rocks that are most easily eroded and overturned when passed by water flow. In addition, this land movement caused cracks in the soil that correlate with low resistivity values. This indicates that the cracks are filled with fluid.

1. PENDAHULUAN

Bencana adalah suatu proses alam atau bukan alam yang menyebabkan korban jiwa, harta, dan mengganggu tatanan kehidupan. Tanah longsor merupakan bencana alam geologi yang diakibatkan oleh gejala alami geologi maupun tindakan manusia dalam mengelola lahan atau ruang hidupnya. Dampak dari bencana ini sangat merugikan, baik dari segi lingkungan maupun social ekonomi.

Fenomena tanah longsor sangat sering terjadi di seluruh belahan dunia. Berbagai pendekatan untuk mendeteksi dan mengevaluasi terjadinya tanah longsor pun banyak dikembangkan, antara lain pada Negara Spanyol (Mulas et al. 2016), Negara Malaysia (Pour and Hashim 2017), Italia (Fiorucci et al. 2017), Taiwan (Chang et al. 2017), Filipina (Luzon et al. 2016), Jepang (Imaizumi et al. 2017), China (Wen et al. 2017), Turkey (Demir 2016) Nigeria (Ige et al. 2016) Nepal (Williams et al. 2017). Beberapa kota didalam negeri yang mengalami fenomena longsor antara lain dapat dijumpai di Ponorogo (Basofi, Fariza, and Dzulkarnain 2016; Koesuma, Saido, and Fukuda 2016), kota Jogjakarta (Nugraha et al. 2015), Bogor (Hasanuddin Z. Abidin et al. 2004), Cianjur (H. Z. Abidin et al. 2007), Karanganyar (Karnawati et al. 2011), Semarang (Arief, Rusbintardjo, and Nur 2014).

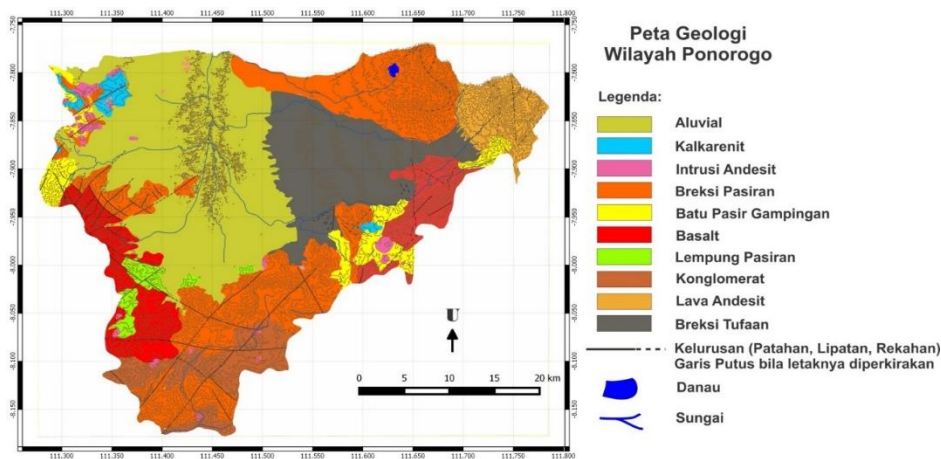
Kabupaten Ponorogo adalah daerah yang rawan terhadap bencana tanah longsor. Untuk meminimalisasi dampak bencana tanah longsor, maka harus dilakukan upaya pengurangan risiko bencana. Untuk melakukan pengurangan risiko bencana maka karakteristik daerah rawan bencana harus dikaji secara seksama. Karakteristik ini dilakukan melalui metode DinSar dengan menggunakan data Citra radar Sentinel-1A. Sentinel-1A diluncurkan pada April 2014 oleh European Space Agency (ESA) merupakan satelit yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi dan penelitian secara gratis. Sentinel-1A beroperasi pada frekuensi gelombang kanal C yang memanfaatkan gelombang radio elektromagnetik dengan panjang gelombang 5.6 cm dan frekuensi 5.405 (<http://www.esa.int>).

1.1. Geologi Umum Wilayah Ponorogo

Morfologi bagian utara Ponorogo termasuk dalam jalur gunungapi Kuarter yang masih aktif, sedang bagian selatan termasuk dalam jalur Pegunungan Selatan. Perbukitan di utara sungai Tirtomoyo merupakan pebukitan lipatan berarah timurlaut-baratdaya. Perbukitan tinggi di selatannya selain terlipat juga tersesarkan. Beberapa tonjolan morfologi dibentuk oleh batuan terobosan. Secara morfogenesis perbukitan di Lembar ini dipengaruhi oleh struktur (lipatan, sesar) dan sifat litologi.

Stratigrafi daerah Ponorogo, batuan Oligosen Akhir-Miosen Awal di Lembar ini dibagi menjadi fasies turbidit (Formasi Dayakan) dan fasies gunungapi (Formasi Watupatok dan Formasi Panggang). Ketiga satuan yang saling menjemari itu ditindih selaras oleh Formasi Semilir, kumpulan sedimen turbidit gunungapi yang berumur Miosen awal. Batuan gunungapi andesit-basal Formasi Nglanggaran berumur akhir Miosen Awal menindih selaras satuan di bawahnya. Kumpulan batuan Oligo-Miosen itu ditutupi oleh satuan kalkarenit-gamping (Formasi Sampung) yang pembentukannya masih dipengaruhi oleh gejala longsor bawahlaut. Runtuhan klastika gampingan di bagian atas dinamakan Anggota Cendono. Formasi Sampung yang berumur akhir Miosen Awal ini diterobos oleh Andesit, dasit dan basal. Formasi tersebut ditindih takselaras satuan

yang lebih tua. Kumpulan batuan ini di bedakan menjadi Kelompok Jobolarangan atau Lawu tua yang berumur Plistosen, dan kelompok Lawu muda berumur Holosen Hingga Gunung Lawu sampai sekarang Lawu.



Gambar 1. Modifikasi Peta geologi kabupaten Ponorogo dari Peta Geologi Regional 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 1992

1.2. Data

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan mode akuisisi IW (*Interferometric wide swath Mode*) pada format data SLC (single look complex) dan data SRTM 30 meter. Citra dari Sentinel-1A yang melingkupi wilayah administrasi kota/kabupaten Ponorogo terdiri dari polarisasi ganda yakni VH dan VV dengan mode *descending*. Pengambilan data dilakukan 5 kali akuisisi, yang kemudian dijadikan 3 pasang (pair) data untuk proses DinSAR. Pasangan data akuisisi dapat dilihat pada tabel di bawah:

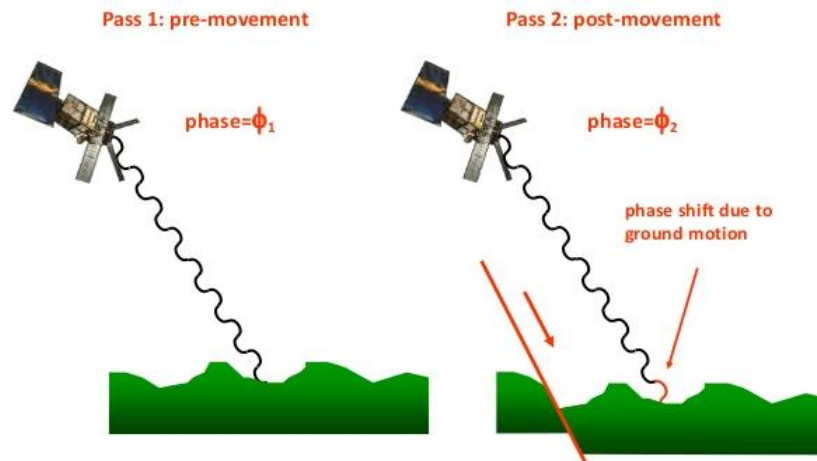
Tabel 1. Data Penelitian

Pair	Akuisisi data 1	Akuisisi data 2	Direction
1	1 Januari 2016	9 Januari 2017	Descending
2	24 Februari 2017	7 Mei 2017	Descending
3	7 Mei 2017	24 Juni 2017	Descending

2. METODE PENELITIAN

Metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) adalah teknologi penginderaan Jauh yang menggunakan citra hasil dari satelit radar. Sistem ini menyinari bumi dengan sinar dari radiasi koherensi gelombang radar, dengan mempertahankan informasi fase dan amplitudo dalam gema radar selama akuisisi data dan pengolahan data. Radiasi ini dapat di gambarkan melalui 3 komponen utama, yaitu (Kusman, 2008):

1. Panjang gelombang, jarak antar puncak dalam gelombang.
2. Amplitudo, pergeseran puncak dari gelombang.
3. Fase, pergeseran gelombang dari beberapa gelombang lain.



Gambar 2. Prinsip kerja InSAR (SERC, 2015)

InSAR memanfaatkan perbedaan dalam pengukuran fase untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua atau lebih citra SAR yang memiliki nilai kompleks dari permukaan yang sama. Hasil perbedaan dari fase tersebut menghasilkan jenis citra baru yang disebut interferogram, dimana pola *fringes* mengisikan semua informasi geometri relatif.

Sistem interferometry SAR (InSAR) menganalisis beda fase dari dua citra yang telah difokuskan. Dua citra tersebut terbentuk atas nilai-nilai fasor berupa bilangan kompleks γ_1 , dan γ_2 yang didekomposisikan menjadi komponen amplitudo dan fase sebagai berikut, (Hanssen, 2001) :

$$\gamma_1 = |\gamma_1| \exp(j\phi_1) \quad (1)$$

$$\gamma_2 = |\gamma_2| \exp(j\phi_2) \quad (2)$$

Sebelum dilakukan perhitungan untuk memperoleh citra interferogram, terlebih dahulu kedua citra harus berada pada sistem koordinat piksel yang sama. Artinya piksel pada citra pertama harus sama objeknya dengan citra kedua pada posisi piksel yang sama. Proses ini disebut koregistrasi citra dan resampling, proses yang dilakukan untuk menghasilkan citra interferogram dapat dilakukan melalui perkalian kompleks (*complex multiplication*) sebagai berikut, (Hanssen, 2001).

$$v = \gamma_1 \gamma_2^* = |\gamma_1| |\gamma_2| \exp(j(\phi_1 - \phi_2)) \quad (3)$$

Selanjutnya untuk mendapatkan interferogram diperlukan dua citra, istilah yang digunakan untuk membedakan kedua citra tersebut adalah *master* dan *slave*. Dimana umumnya *master* merupakan citra yang dipindai terlebih dahulu dan *slave*, citra yang dipindai kemudian. Interferogram yang dihasilkan akan mengandung amplitudo yang merupakan hasil kali amplitudo kedua citra, dan fase yang merupakan beda fase antar citra tersebut.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung interferogram adalah

$$\text{Interferogram} = y(\text{master}) \cdot y^*(\text{slave}) \quad (4)$$

$$\text{Interferogram} = A_m A_s e^{i(\phi_m - \phi_s)} \quad (5)$$

$$\phi_G = \phi_M - \phi_S = \tan^{-1} \left(\frac{I}{R} \right) = - \frac{4\pi (R_M - R_S)}{\lambda} \quad (6)$$

Dimana y merupakan data dalam format SLC, A adalah amplitudo dan ϕ adalah sudut fase dari gelombang radar.

2.1. Differensial InSAR (DinSAR)

Diferensial InSAR merupakan metode untuk mengamati pergerakan tanah atau deformasi dengan teknik *repeat-pass interferometry*. Deformasi yang diamati adalah perubahan relative terhadap *line-of-sight* (LOS) sehingga diukur dalam satuan panjang gelombang. Nilai perubahan ini akan ditentukan oleh panjang baseline pengamatan. Panjang baseline yang semakin mendekati 0 akan menghasilkan nilai perubahan yang sangat baik. Sangat sulit mendapatkan data pengamatan dengan panjang baseline bernilai 0 karena disebabkan oleh factor-faktor berikut :

1. Perjalanan orbit satelit untuk menghasilkan nilai baseline nol tidak mungkin dilakukan
2. Panjang baseline bervariasi berdasarkan sudut pandang yang akan menghasilkan hanya satu data yang memiliki panjang baseline bernilai nol di citra interferogram (Hanssen, 2001)

Ada beberapa metode dalam membangun citra interferogram yaitu metode two-pass, metode three-pass, dan metode four-pass. Metode yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah metode two-pass yang menggunakan dua citra dengan jeda pengamatan tertentu. Metode ini membutuhkan data DEM dari sumber luar sistem yang koordinatnya dikonversikan ke dalam sistem koordinat citra. Kualitas DEM yang digunakan akan mempengaruhi kualitas citra diferensial InSAR yang akan dihasilkan. Fase Interferometrik dapat dinotasikan sebagai berikut :

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} r' sd - \frac{4\pi}{\lambda} r' s \quad (7)$$

atau

$$\frac{4\pi}{\lambda} = r' sd - r' s + r' s - r' = \delta r' d + \delta r' \quad (8)$$

dimana,

$r' sd$ = jarak miring pada pengamatan kedua

$r' s$ = jarak miring pada pengamatan pertama

λ = panjang gelombang

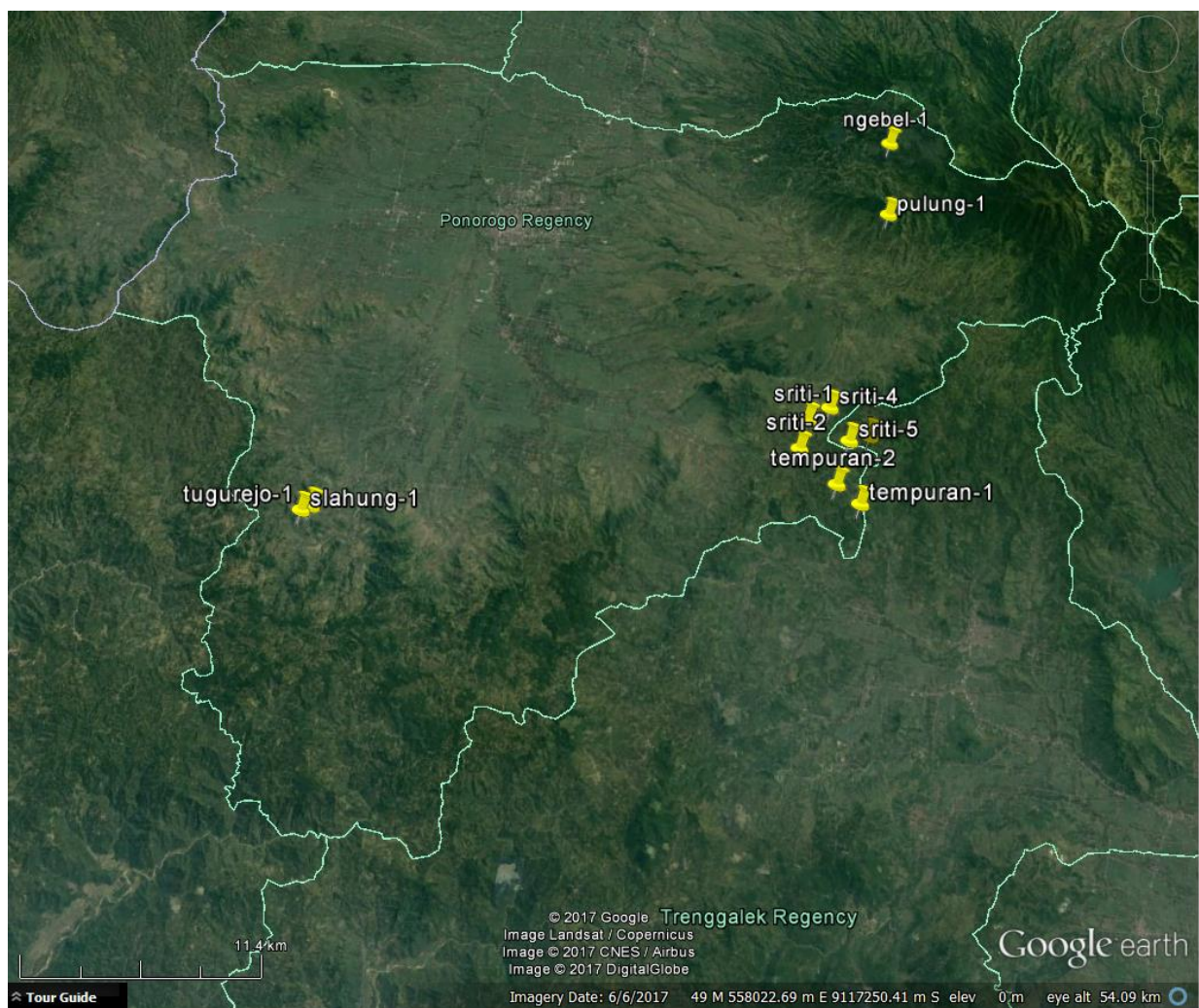
Langkah-langkah dalam processing DinSAR

1. Dari data Sentinel-1A yang telah diperoleh, dilakukan koregistrasi dari pair data yang telah ditetapkan. Penetapan pair ini selain melihat hasil dari nilai baseline juga dari fenomena deformasi yang ingin diketahui.
2. Setelah hasil koregistrasi, tahap selanjutnya dilakukan *Interferometric SAR (InSAR) Processing* yang bertujuan membentuk citra interferogram dari sepasang data SLC. Tahapan yang dilakukan adalah pencarian area, resample parameter dan pendataran (*flattening*).
3. Dari tahapan InSAR *Processing* terbentuk citra interferogram yang memvisualisasikan topografi, deformasi, *noise* dan atmosfer.
4. Data DEM yang digunakan pada tahapan diatas terlebih dahulu digeneralisasi dalam *amplitude* dan *fase* yang selanjutnya dimodelkan menjadi data pengamatan SAR.

5. Hasil *processing* InSAR memiliki nilai koheren diantara 0–1, dimana nilai yang mendekati 1 adalah koheren terbesar diantara dataset.
6. Setelah hasil interferometric didapatkan, selanjutnya dilakukan proses *filtering*, proses *filtering* ini selain meningkatkan kualitas dari hasil inferometrik, juga upaya untuk menghilangkan parameter yang tidak diperlukan dalam analisa deformasi, seperti efek *noise* atmosfer, dan efek topografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

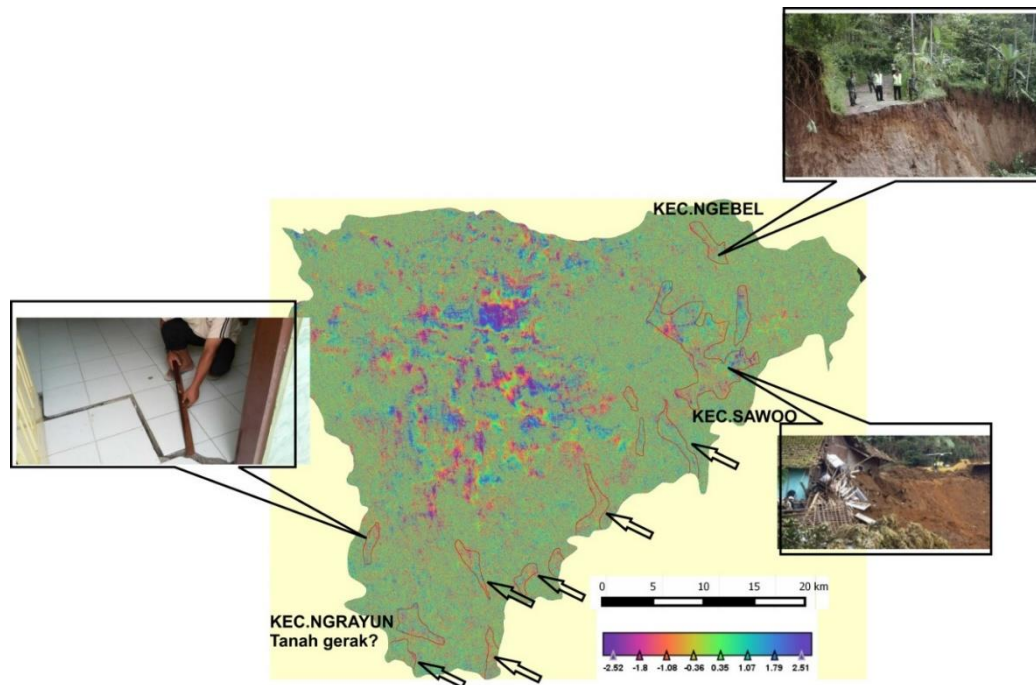
Diketahui dari laporan tim tanggap darurat bencana ESDM Jawa timur, ditemukan pada wilayah Ponorogo memiliki 4 kecamatan yang telah mengalami deformasi berupa longsor dan pergerakan tanah. 4 kecamatan tersebut yakni kecamatan Pulung, kecamatan Sawoo, kecamatan Ngebel dan kecamatan Slahung. Masing-masing daerah yang telah terjadi deformasi tersebut telah di plot dalam peta google dibawah ini



Gambar 3. Plotting lokasi tinjauan yang telah mengalami Deformasi dalam *Google earth*

Nampak pada gambar diatas tanda kuning merupakan bahwa desa atau kecamatan yang telah mengalami longsor maupun deformasi dari hasil observasi lapangan oleh tim tanggap bencana ESDM, hasil observasi ini akan dijadikan validasi dari hasil yang diperoleh dari pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan

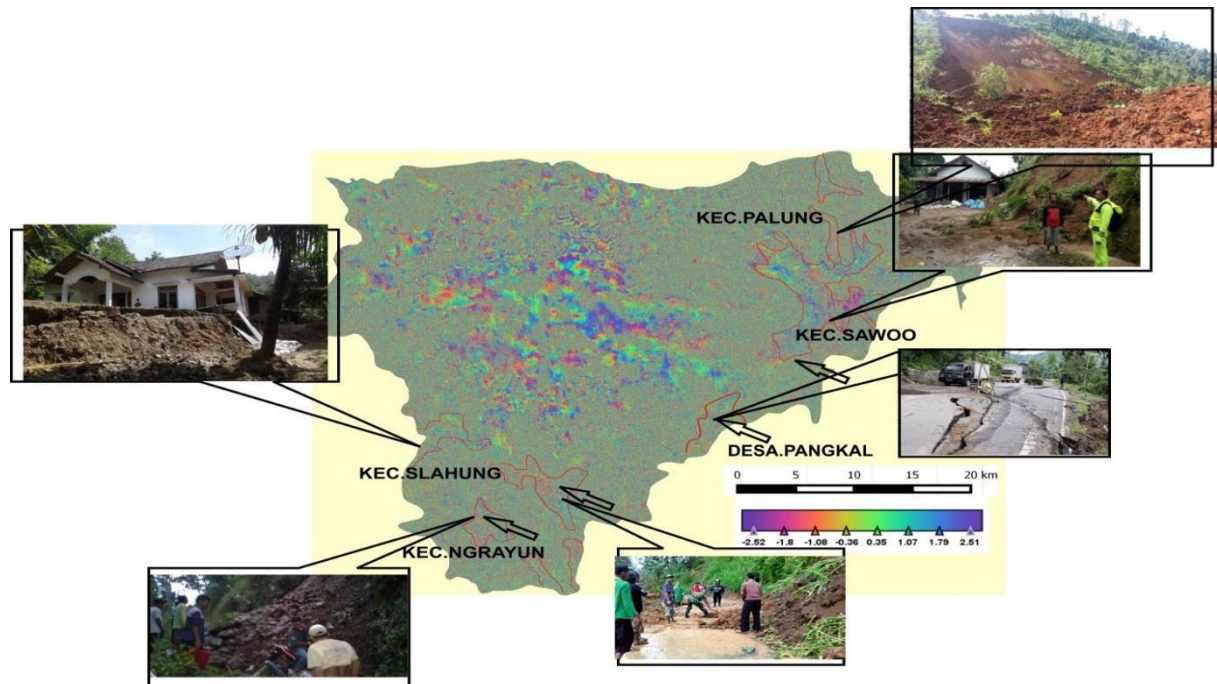
metode DinSAR. Berikut merupakan hasil deformasi DinSAR yang diperoleh dari rentang waktu 1 Januari 2016- 19 Januari 2017.



Gambar 4. Hasil penelitian yang menunjukkan deformasi yang terjadi pada rentang waktu 1 Januari 2016-19 Januari 2017

Pada gambar di atas, hasil DinSAR dapat mendeteksi deformasi yang telah terjadi selama 1 tahun (1 Januari 2016-19 Januari 2017). Terlihat beberapa fenomena longsor dan retakan (tanah bergerak) telah terjadi di beberapa daerah di Ponorogo. Seperti tanah longsor di kec. Ngebél dan kec. Sawoo dan tanah gerak di kecamatan Slahung, Tugurejo.

Beberapa Lokasi pada hasil DinSAR ini juga nampak juga mengalami deformasi, deformasi ini diinterpretasikan sebagai tanah gerak. Untuk mengetahui apakah fenomena tanah gerak ini akan berlanjut atau bahkan menjadi longsor maka akan diperlihatkan untuk hasil DinSAR selanjutnya.

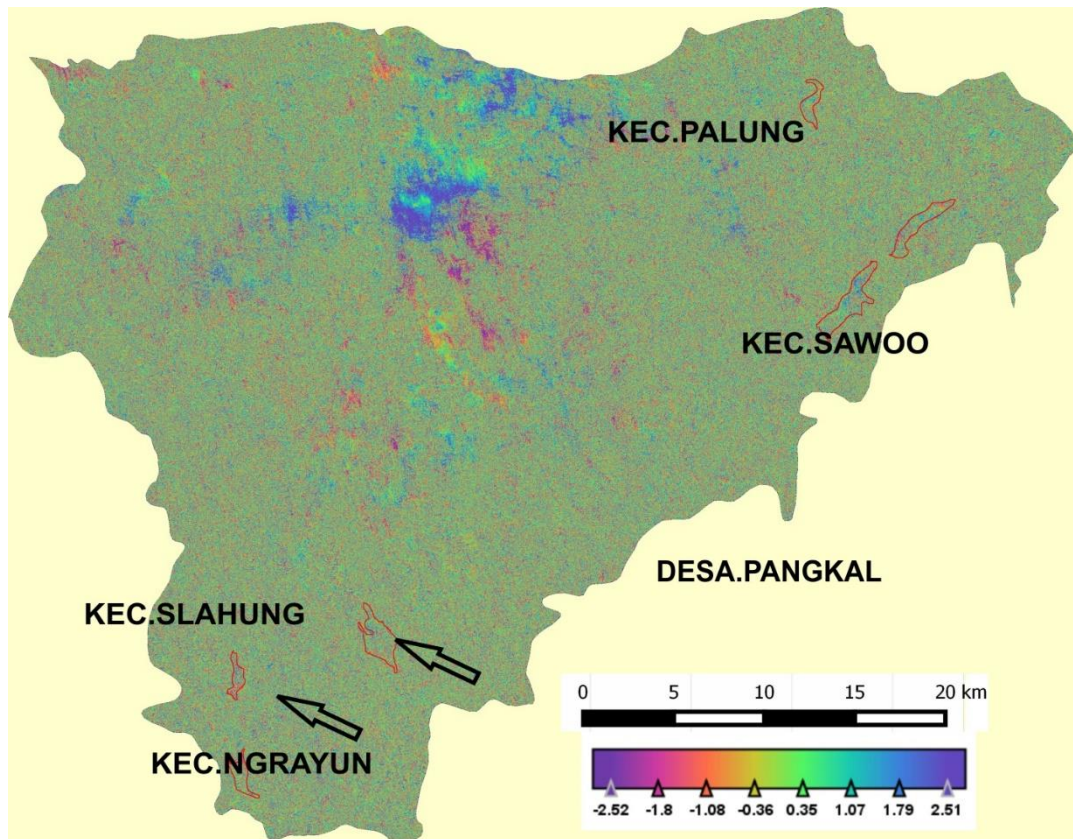


Gambar 5. Hasil penelitian yang menunjukkan deformasi yang terjadi pada rentang waktu 24 februari -7 mei 2017

Pada hasil DinSAR yang kedua ini merupakan hasil yang diambil dalam rentang waktu 3,5 bulan yakni mulai tanggal 24 februari -7 mei 2017. Dalam waktu ini kondisi permukaan tanah pada wilayah Ponorogo menunjukkan deformasi yang sangat tinggi. Terutama di wilayah kecamatan Palung, kecamatan silahung, kecamatan Ngrayun, dan kecamatan Sawoo. Jika dibandingkan dengan hasil dari DinSAR yang pertama, terlihat banyak adanya perkembangan. Seperti pada kecamatan Slahung dan kecamatan Ngrayun, dimana pada waktu januari 2016-2017 pada kecamatan Slahung dan Ngrayun hanya terjadi retakan atau tanah bergerak, namun pada rentang waktu ini, daerah ini menunjukkan adanya longsor.

Selanjutnya deformasi pada kecamatan Palung dibanding dengan hasil sebelumnya, nampak pada hasil ini terlihat semakin besar, dan terbukti bahwa pada bulan april 2017 (dalam rentang waktu DinSAR) telah mengalami bencana longsor yang besar. Pada kecamatan Sawoo, nampak juga pola deformasi juga semakin tingi, namun masih tetap deformasi yang dihasilkan hanya sebatas retakan tanah (pergerakan tanah)

Untuk mengetahui perkembangan selanjutnya mengenai deformasi ini, maka dilakukan lagi pemrosesan DinSAR pada rentang waktu 1,5 bulan (7 mei – 24 juni 2017). Pada rentang waktu yang tergolong sangat singkat ini, ternyata masih terlihat beberapa deformasi (pergerakan tanah). Seperti pada kecamatan Palung, Sawoo, dan kecamatan Ngrayung. Meskipun kenampakan deformasi kecil, namun kemungkinan karena dihasilkan rentang waktu yang kecil, maka daerah ini harus tetap diwaspadai.



Gambar 6. Hasil penelitian yang menunjukkan deformasi yang terjadi pada rentang waktu 7 mei – 24 juni 2017

Jika dilihat dari peta geologi pada gambar 1, daerah yang telah mengalami Longsor dan pergerakan tanah adalah daerah yang memiliki satuan litologi Breksi Pasiran, Jenis litologi ini merupakan kelompok batuan sedimen, yang mana batuan ini batuan yang paling mudah terkikis dan terombak ketika dilewati oleh aliran air.

4. KESIMPULAN

Metode DinSAR dengan menggunakan data Sentinel-1A dapat mendeteksi dengan baik zona deformasi di wilayah Ponorogo, baik deformasi berupa longsor ataupun hanya pergerakan tanah. Daerah yang nampak memiliki deformasi pada hasil metode DinSAR diantaranya kecamatan Palung, Sawoo, Slahung, dan kecamatan Ngrayun. Dari tinjauan geologi, daerah yang mengalami deformasi berupa longsor dan pergerakan tanah memiliki satuan litologi batu Breksi Pasiran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberikan dukungan atas penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Azis, Y. M., dan Widodo, S. (2015). Survei Polarisasi Terimbas (IP) dan Geomagnet Daerah Parit Tebu Kecamatan Gantung Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Pusat Sumber Daya Geologi*.

- Baharuddin dan Sidarto. (1995). Peta Geologi Lembar Belitung, Sumatera, skala 1:250.000, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Burger, H. R., Sheehan, A. F., dan Jones, C. H. (2006). *Introduction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface*. W.W.Norton & Company. New York.
- Butler, D. K. (2005). *Near Surface Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa (Okla).
- Denith, M. dan Mudge, S. T. (2014). *Geophysicst for the Mineral Exploration Geoscientist*. Cambridge University Press, 237-271.
- Dobrin, M. B., dan Savit, C. H. (1988). *Introduction to Geophysical Prospecting*. McGraw-Hill.
- Haldar, S. K. (2018). *Mineral exploration: Principles and applications*. Elsevier. Amsterdam, Netherland.
- Hinze, W. J., Saad, A. H., dan Frese. R. V. (2013). *Gravity and Magnetic Exploration: Principles, Practices and Applications*. Cambridge University Press. New York.
- Intan, S. F. M. (2019). Eksplorasi Geoarkeologi Belitung Timur, Provinsi Bangka-Belitung. *Siddhayatra: Jurnal Arkeologi*. 24(1): 1-16
- Raharja, B., Setianto, A., Titisari, D. A. (2020). Ekstraksi Informasi Dari DEM SRTM Untuk Pemetaan Struktur Geologi Studi Kasus: Kokap, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geomine*, 8(2): 80-95.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd edition*. John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex.
- Santoso, D. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. ITB. Bandung.
- Soepriadi dan Pardiarto, B. (2015). Laporan Penelitian dan Evaluasi Hasil Pengeboran Logam Timah Primer di Daerah Parit Tebu, Kecamatan Gantung, Kabupaten Belitung Timur, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Pusat Sumber Daya Geologi*.
- Taylor, R. G. (1979). *Developments in Economic Geology, volume 11; Geology of Tin Deposits*. Elsevier. Amsterdam.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics, 2nd edition*. Cambridge University Press. Cambridge.