

Deformasi Permukaan pada Manifestasi Gunung Lumpur di Wilayah Cekungan Jawa Timur dari Pengolahan Data SAR menggunakan Metode PS-InSAR

Surface Deformation on Mud Mountain Manifestations in the East Java Basin from SAR Data Processing using the PS-InSAR Method

Bella Esti Ajeng Syahputri¹, Ira Mutiara Anjasmara*¹, Amien Widodo²

¹Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

²Departemen Teknik Geofisika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*Korespondensi penulis: ira@geodesy.its.ac.id

Diterima: 14082020; Diperbaiki: 17022021; Disetujui: 19022021; Dipublikasi: 07042021

Abstrak: Penelitian ini menyajikan hasil pengolahan data SAR dengan metode *Permanent Scatterer Interferometric SAR* (PS-InSAR) yang bertujuan untuk menganalisa pola dan nilai deformasi muka tanah akibat manifestasi gunung lumpur di wilayah Cekungan Jawa Timur. Dengan menggunakan metode PS-InSAR pada pengolahan data *time series* untuk citra SAR L-band ALOS PALSAR 1 tahun 2007-2009 dan C-band Sentinel 1A tahun 2015-2019, besarnya deformasi yang didapat dapat sampai ketelitian satuan milimeter. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa untuk pengolahan tahun 2007-2009 tidak dapat dijadikan informasi deformasi karena kurangnya ketersediaan jumlah citra sebagai syarat pengolahan metode PS-InSAR, sedangkan hasil pengolahan tahun 2015-2019 menunjukkan pola dan nilai deformasi yang berbeda pada tiap lokasi. Pada Gunung Lumpur Sidoarjo terjadi penurunan muka tanah rata-rata sebesar 5,46 mm/th. Gunung Lumpur Gununganyar mengalami kenaikan muka tanah rata-rata sebesar 1,71 mm/th dan penurunan muka tanah sebesar 7,08 mm/th. Gunung Lumpur Kalanganyar mengalami kenaikan muka tanah rata-rata sebesar 0,99 mm/th. Gunung Lumpur Wringinanom mengalami kenaikan muka tanah rata-rata sebesar 3,37 mm/th, dan Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki mayoritas mengalami kenaikan muka tanah rata-rata 2,88 mm/th. Hasil analisis penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan dalam kegiatan pembangunan atau konstruksi pada wilayah di sekitar manifestasi gunung lumpur di Provinsi Jawa Timur.

Copyright © 2021 Geoid. All rights reserved.

Abstract: This study presents the results of the *Permanent Scatterer Interferometric SAR* (PS-InSAR) processing technique, which aims to analyze the pattern and value of surface deformation due to mud volcano manifestations. Using the PS-InSAR method, the deformation identified from processing time-series data on the ALOS PALSAR 1 L-band SAR Image in 2007-2009 and C-band Sentinel 1A 2015-2019 can reach the accuracy of millimeters. The results also showed that the 2007-2009 data processing could not be used as deformation information. It is because the minimum number of images required for the PS-InSAR method was not fulfilled. The 2015-2019 data processing illustrates the deformation patterns and values on the mud volcano manifestation locations. The Sidoarjo Mud Volcano experience uplift with an average value of 5.46 mm/year. The Gununganyar Mud Volcano experienced average uplift of 1.71 mm/year and a subsidence of 7.08 mm/year. The majority of the Kalanganyar Mud Volcano experienced average subsidence of 0.99 mm/year. The Wringianom Mud Volcano experienced average subsidence of 3.37 mm/year, and the majority of Bujhel Tasek Bini and Pria Mud Volcano has average subsidence of 2.88 mm/year. This study's results can be useful for consideration in development activities or construction around the mud volcanoes manifestation in East Java Province.

Kata kunci : ALOS PALSAR-1; deformasi; Gunung Lumpur; PS-InSAR; Sentinel 1A

Cara untuk sitasi: Syahputri, B. E. A., Anjasmara, I. M., & Widodo, Amien. (2021). Deformasi Permukaan pada Manifestasi Gunung Lumpur di Wilayah Cekungan Jawa Timur dari Pengolahan Data SAR menggunakan Metode PS-InSAR. *Geoid*, 16(2), 204 - 214.

Pendahuluan

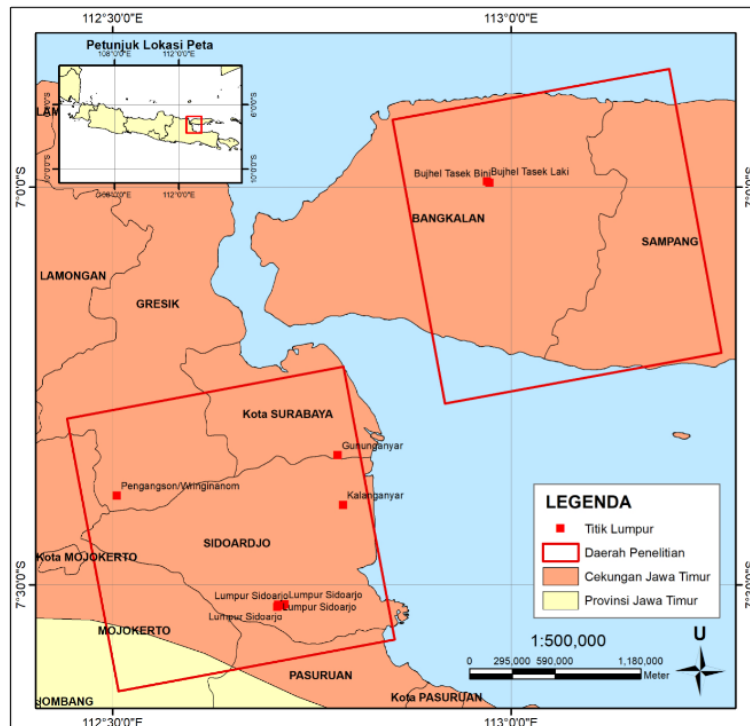
Studi tentang gunung lumpur penting untuk berbagai kegiatan, seperti indikator sistem perminyakan aktif, sumber metana di atmosfer dan laut, serta geohazard (Milkov, 2003). Kasus di seluruh dunia menunjukkan bahwa diapirisme dan vulkanisme lumpur memiliki hubungan dekat dengan minyak bumi, sama halnya pada gunung lumpur di Jawa dengan Madura memiliki kasus yang sama. Rembesan minyak, gas dan ladang kecil telah ditemukan dan diproduksi di bagian timur Zona Bogor dan Zona Serayu Utara. Zona Rembang-Kendeng, yang merupakan bagian dari Cekungan Jawa Timur. Cekungan Jawa Timur merupakan salah satu daerah perminyakan tertua dan terkaya di Indonesia (Satyana dan Asnidar, 2008). Fenomena gunung lumpur dapat mengubah bentuk permukaan tanah (*surface deformation*). Perubahan bentuk permukaan tanah berpengaruh terhadap obyek yang ada di atasnya seperti struktur bangunan dan utilitas sehingga penting untuk dipantau.

Pada penelitian kali ini dilakukan penerapan metode PS-InSAR menggunakan software SarProZ untuk mengetahui deformasi muka tanah yang terjadi akibat manifestasi gunung lumpur pada Provinsi Jawa Timur yang berada di wilayah Cekungan Jawa Timur. Dengan menggunakan citra ALOS PALSAR-1 tahun 2007-2009 dan citra Sentinel 1A Tahun 2015-2019, metode PS-InSAR dapat digunakan untuk mengukur deformasi berdasarkan LOS (*line-of-sight*) dari sensor SAR ke permukaan secara *time series* dengan mengestimasi titik-titik *Permanent Scatterer* (PS) pada masing-masing wilayah akuisisi SAR, dengan meminimalisir efek atmosfer, topografi, dan *noise* sinyal (Crosetto dkk, 2016).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana metode PS-InSAR dapat digunakan sebagai rujukan dalam melakukan analisa deformasi muka tanah akibat manifestasi gunung lumpur serta mengetahui nilai dan pola yang didapat dari pengolahan menggunakan metode tersebut beserta analisis geologinya.

Data dan Metode

Secara geografis lokasi penelitian ini berada pada rentang koordinat $112^{\circ}50'22,08''$ - $113^{\circ}18'4,17''$ BT dan $6^{\circ}48'59,37''$ - $7^{\circ}17'2,7''$ LS, yang menunjukkan cakupan lokasi di Pulau Madura, dan rentang koordinat $112^{\circ}27'16,7''$ - $112^{\circ}51'59,02''$ BT dan $7^{\circ}13'7,21''$ - $7^{\circ}38'34,04''$ LS, yang menunjukkan cakupan lokasi penelitian di Pulau Jawa, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pada masing-masing cakupan *scene* citra terdapat beberapa lokasi manifestasi gunung lumpur yang berada dalam wilayah Cekungan Jawa Timur yang secara detail dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat lokasi manifestasi gunung lumpur Jawa Timur pada wilayah Cekungan Jawa Timur

No.	Nama Gunung Lumpur	Koordinat
1	Gununganyar	7° 20' 14,08" LS; 112° 46' 56,32" BT
2	Bujhel Tasek Bini	6° 59' 41,03" LS; 112° 58' 22,53" BT
3	Bujhel Tasek Laki	6° 59' 33,39" LS; 112° 58' 10,93" BT
4	Lumpur Sidoarjo	7° 31' 40,50" LS; 112° 42' 23,34" BT
		7° 31' 32,22" LS; 112° 42' 28,08" BT
		7° 31' 33,72" LS; 112° 42' 47,34" BT
		7° 31' 28,92" LS; 112° 42' 55,74" BT
5	Kalanganyar	7° 23' 59,10" LS; 112° 47' 20,75" BT
6	Wringinanom	7° 23' 17,00" LS; 112° 30' 18,00" BT

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra ALOS PALSAR 1 dan Sentinel 1A. Data ALOS PALSAR 1 diunduh melalui situs Alaska *Satellite Facility*. Waktu akuisisi data yang digunakan pada penelitian ini adalah tahun 2007-2009, yaitu sebanyak 6 dan 7 citra pada masing-masing cakupan wilayah. Keunggulan dari citra ALOS PALSAR 1 adalah panjang gelombangnya yang sebesar 23,6 cm sehingga dapat mendeteksi sebagian wilayah yang bervegetasi. Data Sentinel 1A diunduh dari situs Copernicus *Open Access Hub*. Waktu akuisisi data yang digunakan pada penelitian ini adalah tahun 2015-2019, yaitu sebanyak sebanyak 20 citra. Keunggulan dari citra Sentinel-1A adalah karena memiliki jangkauan yang luas (250 km dalam mode *wide swath* interferometri) dan resolusi spasial yang memadai (5 m x 20 m dalam resolusi spasial). Pasangan citra yang digunakan dalam format *Single Look Complex* (SLC). PS-InSAR membutuhkan setidaknya 20 citra SAR untuk melakukan analisis dalam data C-Band (Crosseto dkk., 2015). Dalam studi ini, digunakan 20 citra SAR untuk dipasangkan dalam membuat citra *master* dan *slave*, dengan mode penerbangan dalam jalur *ascending* dan polarisasi *Vertical-Vertical* (VV). Polarisasi VV merupakan kombinasi polarisasi gelombang radar yang searah antara pemancar dan penerima. Pemilihan pasangan data yang sesuai merupakan hal yang krusial, karena keberhasilan metode yang diterapkan sangat bergantung pada nilai koherensi. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pada beberapa parameter yang mempengaruhi koherensi, seperti *perpendicular baseline* antara orbit satelit, *temporal baseline* antara waktu akuisisi, dan estimasi koherensi dari keseluruhan pasangan citra (Fárová dkk., 2019).

Kedua jenis data SAR dalam format SLC diubah menjadi format yang dapat dibaca oleh SarProZ (Perissin, 2016). Kemudian, dilakukan beberapa pemrosesan, seperti perhitungan statistis dataset, penerapan orbit yang tepat dan pemilihan subset SLC untuk pemilihan cakupan wilayah. Pada tahap ini dilakukan pemilihan *master* citra yang optimal. Kemudian dilakukan pemilihan produk *slave* citra SAR sesuai dengan *subswath* dan polarisasi yang diinginkan serta pembaharuan informasi orbit. Citra *master* dan *slave* diekstrak dan dco-registrasi bersama. Dalam proses co-registrasi, *offset* antara citra *master* dan *slave* diperkirakan dengan menyelidiki korelasi informasi amplitudo dalam domain spasial dan spektral. Setiap citra *slave* disejajarkan dengan *master*, sehingga porsi medan yang dicitrakan dari setiap piksel dalam citra *slave* sama dengan piksel dari citra *master*. Bentuk tumpukan gambar yang terco-registrasi bersama dan peta reflektifitas digunakan sebagai rata-rata temporal dari intensitas semua gambar dalam dataset yang dihasilkan dan *Amplitude Stability Index* (ASI) kemudian dihitung. *Geocoding* awal dapat dilakukan tergantung pada data yang tersedia dan resolusinya. Terdapat berbagai strategi untuk memilih titik pengikat yang baik untuk *geocoding*. Selanjutnya dilakukan perhitungan DEM di koordinat SAR untuk membantu pengolahan PS-InSAR dan fase ke ketinggian dan fase ke konstanta datar (Ruiz-Armenteros dkk., 2016). PS-InSAR memanfaatkan interferogram dengan satu *scene* utama. Dalam teknik ini, hanya piksel koheren dengan fase atau amplitudo stabil yang diproses. Jumlah titik yang dihasilkan pada umumnya rendah pada area yang bervegetasi sedangkan pada permukaan jalan raya akan cukup besar untuk diwakili oleh puluhan piksel (Fárová dkk., 2019).

Pemrosesan PS-InSAR dilakukan pada sekumpulan titik yang memanfaatkan karakteristik berbeda terkait amplitudo sinyal radar (peta reflektifitas, ASI), dan koherensi temporal dan spasial. Untuk membuat jaringan PS *candidate* (PSC), ambang batas pada ASI diterapkan untuk memperkirakan parameter awal dan *Atmospheric Phase Screen* (APS). Tahapan ini dilakukan dengan memasukkan nilai ambang batas dari ASI. Formula yang digunakan untuk perhitungan ASI dikemukakan oleh Ferretti dkk. (2001) sebagai berikut:

$$ASI = 1 - D_A = 1 - \left(\frac{\sigma_A}{\mu_A} \right) \quad (1)$$

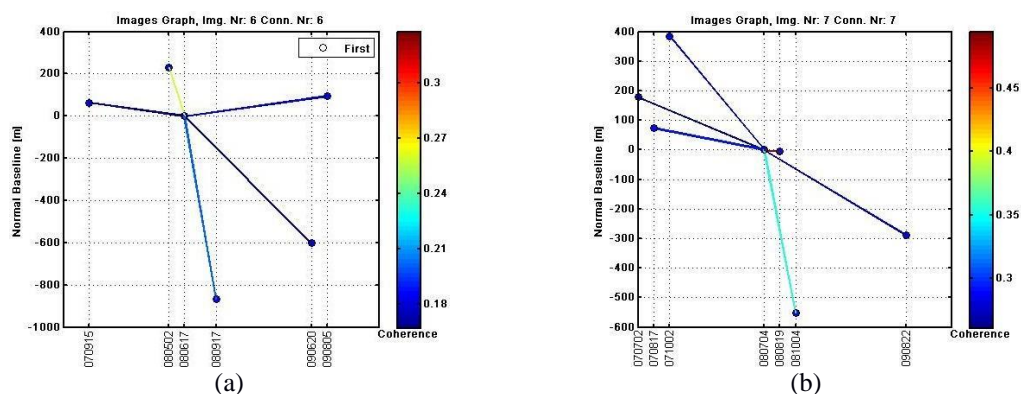
Dimana, σ_A adalah standar deviasi, μ_A adalah nilai rata-rata dan D_A adalah *Dispersion Index*. Kemudian nilai estimasi parameter tinggi dan *trend linier* dimasukan untuk dapat memilih titik referensi sebagai titik referensi PS (*Permanent Scatterer*) pada PS-berikutnya. Kumpulan titik yang lebih besar berdasarkan peta reflektifitas dan koherensi spasial digunakan selama kompensasi APS *inverted residual* (Perissin 2016), yang diperkirakan dengan menggunakan opsi stratifikasi untuk memperkirakan korelasi antara APS dan elevasi DEM. Setelah APS dihilangkan, estimasi akhir dari ketinggian dan kecepatan dihitung (Ruiz-Armenteros dkk., 2016).

Hasil dan Pembahasan

Metode PS-InSAR pada dasarnya merupakan metode InSAR yang diterapkan menggunakan data multitemporal. Metodologi PS-InSAR menggunakan minimal 20 citra dapat memonitor pergerakan deformasi linear dengan perubahan ketinggian yang dibandingkan dengan data DEM (Virk dkk. 2019). Pada penelitian ini, pengolahan PS-InSAR dilakukan dengan menggunakan data SAR dari ALOS PALSAR-1 sebanyak 6 citra (*path 426 frame 7040*) dan sebanyak 7 citra (*path 427 frame 7030*), sedangkan untuk Sentinel 1A sebanyak 20 citra.

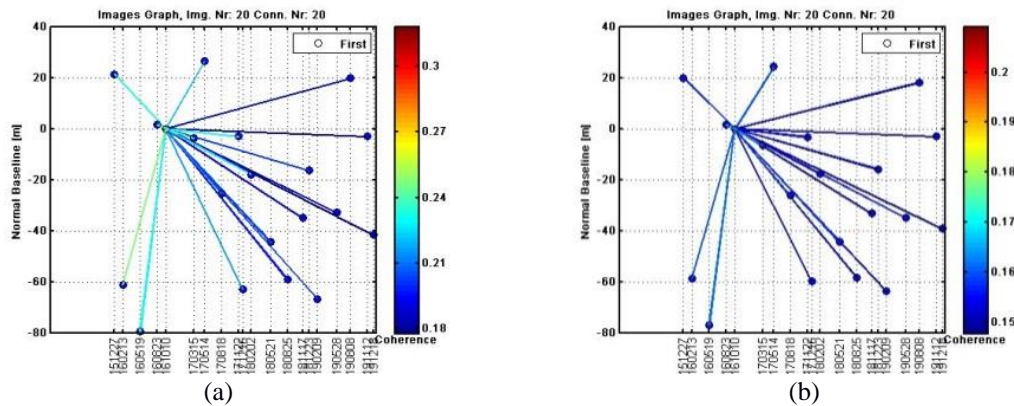
1. Pembentukan *Baseline Plot* Data Citra

Informasi *baseline* normal atau *perpendicular baseline* ditunjukkan pada sumbu Y dan informasi dasar temporal pada sumbu X. Gambar 2 menunjukkan informasi dataset Citra ALOS PALSAR-1 *path 426 frame 7040* menunjukkan cakupan wilayah Pulau Madura, Jawa Timur, sedangkan pada *path 427 frame 7030* menunjukkan cakupan wilayah Jawa Timur daratan, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 2. *Baseline plot* pada Citra ALOS PALSAR-1 (a) *path 426 frame 7040* (b) *path 427 frame 7030*

Gambar 2 menunjukkan informasi dataset Citra Sentinel 1A, dimana *subswath* IW1 menunjukkan cakupan wilayah Jawa Timur di Pulau Jawa, sedangkan *subswath* IW2 menunjukkan cakupan wilayah Jawa Timur di Pulau Madura.



Gambar 3. Baseline plot pada Sentinel 1A (a) subswath IW 1 (b) subswath IW 2

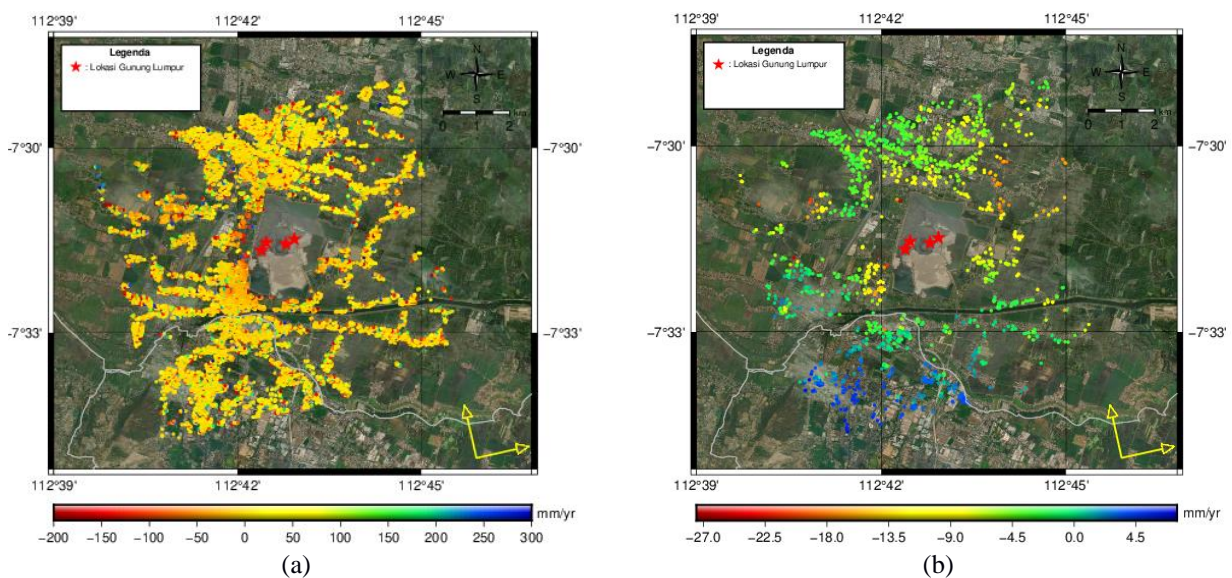
Dari hasil pembentukan *baseline* pada Gambar 2 dan Gambar 3, maka data SAR yang digunakan pada Gambar 3 dimungkinkan dapat menghasilkan data PS-InSAR yang lebih baik dibandingkan data akuisisi pada Gambar 2 karena pada data yang digunakan memiliki rentang *temporal baseline* yang lebih rapat dan nilai *perpendicular baseline* yang lebih optimal yaitu *perpendicular baseline* dengan batas 150 dan 300 meter (Ferreti dkk., 2007).

2. Hasil Nilai Dan Pola Deformasi Muka Tanah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana metode PS-InSAR dapat digunakan sebagai rujukan dalam melakukan analisa deformasi muka tanah akibat manifestasi gunung lumpur serta mengetahui nilai dan pola yang didapat dari pengolahan menggunakan metode tersebut beserta analisis geologinya. Berikut merupakan hasil plot PS-InSAR berdasarkan estimasi laju kecepatan (*velocity rate*) deformasi, standar deviasi dan LOS *cumulative displacement* Citra ALOS PALSAR-1 dan Sentinel 1A pada wilayah manifestasi gunung lumpur di Cekungan Jawa Timur yang dilakukan dengan jarak radius penelitian sebesar $\pm 4,5$ km terhadap gunung lumpur dengan wilayah sekitarnya.

3. Gunung Lumpur Sidoarjo

Pola deformasi titik PS di wilayah Gunung Lumpur Sidoarjo menyajikan estimasi laju kecepatan yang lebih kecil saat mendekati wilayah manifestasi gunung lumpur. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil plot estimasi *velocity rate* PS-InSAR wilayah Gunung Lumpur Sidoarjo, Jawa Timur pada (a) Citra ALOS PALSAR 1, dan (b) Citra Sentinel 1A

Hasil nilai estimasi deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Sidoarjo yaitu sebagai berikut:

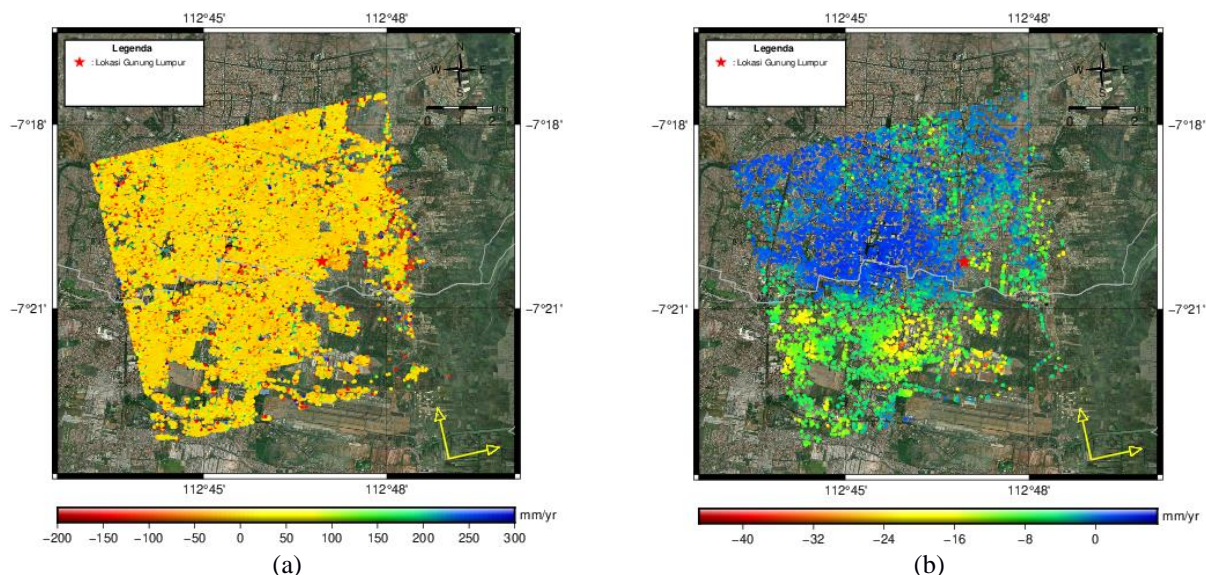
Tabel 2. Nilai Estimasi Deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Sidoarjo

Jenis Citra SAR	Jumlah Titik PS radius $\pm 4,5$ km	Nilai Estimasi Rata- rata Kec. Deformasi (mm/thn)	Nilai Rata- rata Std. Dev (mm)
ALOS PALSAR-1	10.657	<i>Uplift</i> : +36,75 <i>Subsidence</i> : -28,48	4,40
Sentinel 1A	1.390	<i>Uplift</i> : +2,62 <i>Subsidence</i> : -5,46	2,33

Tabel 2 menggambarkan bahwa nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS di wilayah manifestasi Lumpur Sidoarjo pada Citra ALOS PALSAR 1 pada tahun 2007-2009 mengalami kenaikan (*uplift*) sebesar 36,75 mm/tahun dan juga mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 28,48 mm/tahun. Sedangkan, pada Citra Sentinel 1A pada tahun 2015-2019 mengalami kenaikan (*uplift*) di wilayah selatan dan barat daya wilayah studi sebesar 2,62 mm / tahun. Sedangkan sebagian besar wilayah studi mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 5,46 mm / tahun. Hal ini berbeda dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Yulyta dkk. (2015), pengamatan deformasi di Lumpur Lapindo pada tahun 2008 hingga 2011 yang menunjukkan nilai deformasi sebesar 0 – -20 cm/th untuk *subsidence* dan 0 – 10 cm/th untuk *uplift*, di mana bagian Selatan dan Barat tanggul cenderung mengalami penurunan tanah, dibagian Utara cenderung mengalami *uplift*, dan bagian Timur terjadi penurunan tanah namun di beberapa titik ditemukan *uplift*. Dari hasil kedua pengamatan tersebut diindikasikan manifestasi Gunung Lumpur Sidoarjo mengalami penurunan volume ekstrusi lumpur hingga tahun 2019.

4. Gunung Lumpur Gununganyar

Pola deformasi titik PS di wilayah Gunung Lumpur Gununganyar pada ALOS PALSAR-1 dan Sentinel 1A menyebar di seluruh wilayah penelitian dengan radius $\pm 4,5$ km, hal ini dikarenakan wilayah disekitar manifestasi gunung lumpur tersebut didominasi oleh permukiman padat. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil plot estimasi *velocity rate* PS-InSAR wilayah Gunung Lumpur Gununganyar, Jawa Timur pada (a) Citra ALOS PALSAR 1, dan (b) Citra Sentinel 1A

Hasil nilai estimasi deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Gununganyar yaitu sebagai berikut:

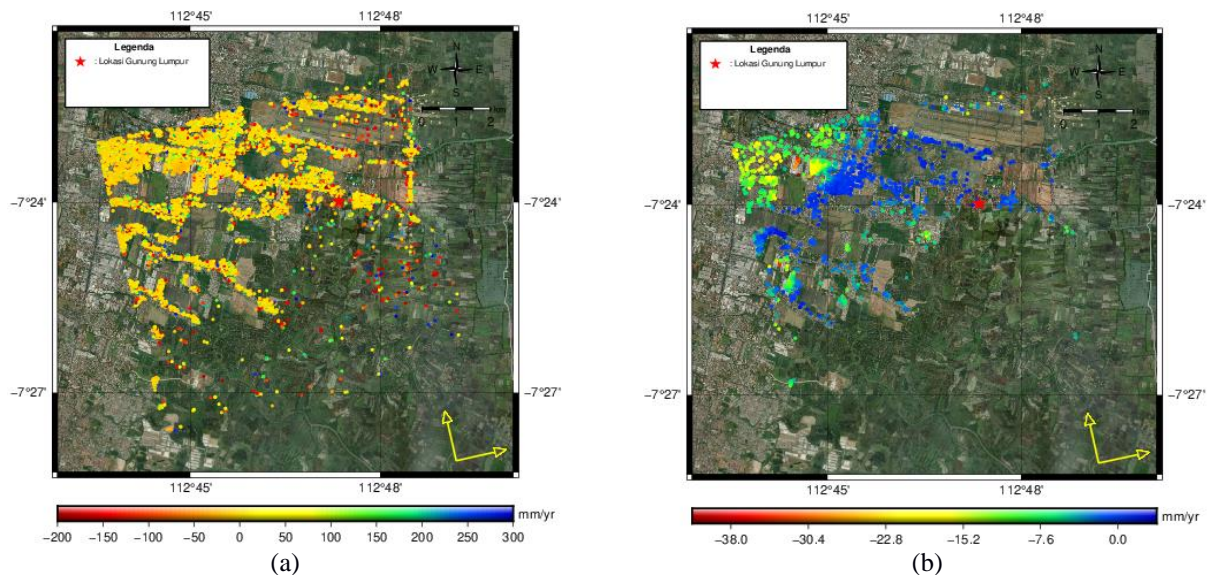
Tabel 3. Nilai Estimasi Deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Gununganyar

Jenis Citra SAR	Jumlah Titik PS radius $\pm 4,5$ km	Nilai Estimasi Rata-rata Kec. Deformasi (mm/thn)	Nilai Rata-rata Std. Dev (mm)
ALOS PALSAR-1	33.737	<i>Uplift</i> : +31,41 <i>Subsidence</i> : -16,70	3,84
Sentinel 1A	6.704	<i>Uplift</i> : +1.71 <i>Subsidence</i> : -7.08	1,66

Tabel 3 menggambarkan bahwa nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS di wilayah manifestasi Gunung Lumpur Gununganyar pada Citra ALOS PALSAR 1 pada tahun 2007-2009 mengalami kenaikan (*uplift*) sebesar 31,41 mm/tahun dan juga mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 16,70 mm/tahun. Sedangkan hasil pola deformasi dari pengolahan PS-InSAR pada Citra Sentinel 1A di tahun 2015-2019 menggambarkan daerah sekitar manifestasi Gununganyar mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) di bagian tenggara dari semburan lumpur panas. Hal ini sejalan dengan penelitian S. Amelinda, K., dan Santosa, B. J. (2016) yang mengidentifikasi nilai resistansi dari pengolahan data dengan metode geolistrik pada Lumpur Gununganyar yang menunjukkan bahwa arah sebaran lumpur meluas ke arah tenggara dan daerah yang harus diwaspadai bencana semburan lumpur adalah arah tenggara dari pusat manifestasi gunung lumpur.

5. Gunung Lumpur Kalanganyar

Hasil nilai dan pola estimasi deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Kalanganyar yaitu sebagai berikut:



Gambar 6. Hasil plot estimasi *velocity rate* PS-InSAR wilayah Gunung Lumpur Kalanganyar, Jawa Timur pada (a) Citra ALOS PALSAR 1, dan (b) Citra Sentinel 1A

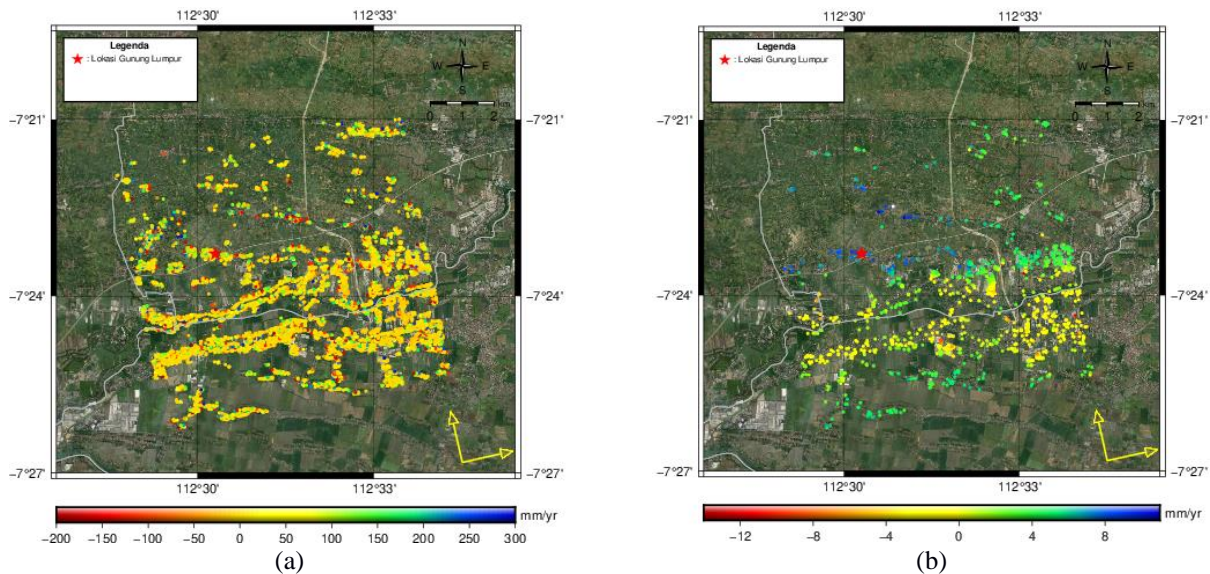
Tabel 4. Nilai Estimasi Deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Kalanganyar

Jenis Citra SAR	Jumlah Titik PS radius $\pm 4,5$ km	Nilai Estimasi Rata-rata Kec. Deformasi (mm/thn)	Nilai Rata-rata Std. Dev (mm)
ALOS PALSAR-1	7.745	<i>Uplift</i> : +34,73 <i>Subsidence</i> : -27,83	4,24
Sentinel 1A	2.136	<i>Uplift</i> : +0,99 <i>Subsidence</i> : -6,81	1,76

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS di kawasan Gunung Lumpur Kalanganyar pada Citra ALOS PALSAR 1 di tahun 2007-2009 mengalami kenaikan (*uplift*) sebesar 34,73 mm/tahun dan juga mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 27,83 mm/tahun. Pola deformasi dari pengolahan PS-InSAR pada Citra Sentinel 1A di tahun 2015-2019 menggambarkan mengalami kenaikan muka tanah (*uplift*) dalam radius $\pm 4,5$ km sebesar 0,99 mm/tahun. Sedangkan bagian barat laut wilayah penelitian mengalami penurunan muka tanah sebesar 6,81 mm/tahun. Wilayah studi didominasi oleh titik-titik PS di utara hingga barat wilayah manifestasi gunung lumpur karena wilayah gunung lumpur terletak di antara area vegetasi, pertambakan dan area pemukiman.

6. Gunung Lumpur Wringinanom

Hasil nilai dan pola estimasi deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Wringinanom dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil plot estimasi *velocity rate* PS-InSAR wilayah Gunung Lumpur Wringinanom, Jawa Timur pada (a) Citra ALOS PALSAR 1, dan (b) Citra Sentinel 1A

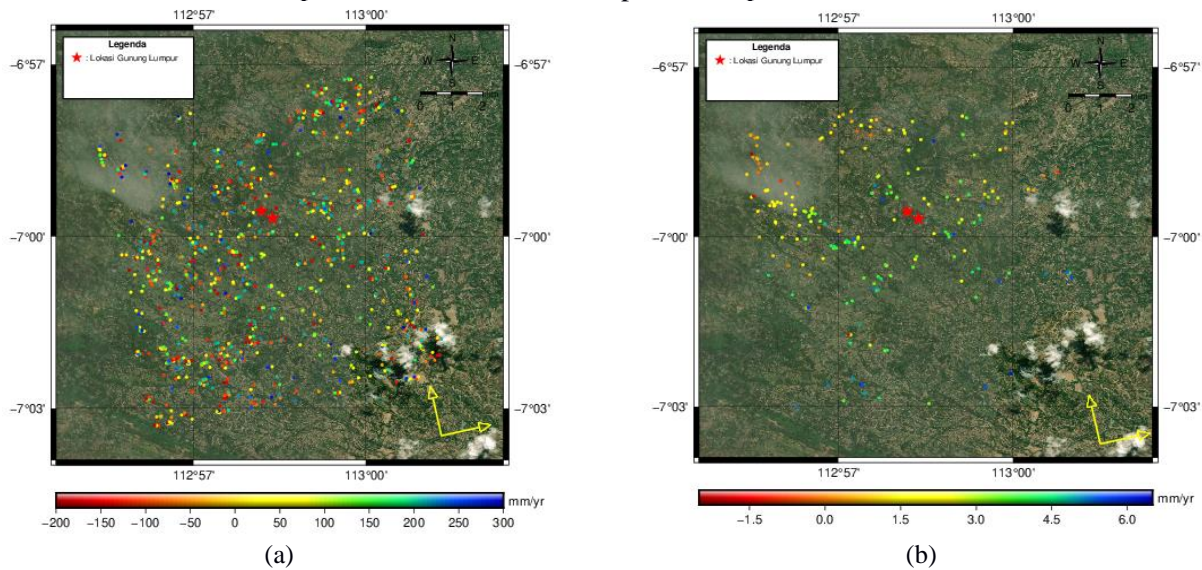
Tabel 5. Nilai Estimasi Deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Wringinanom

Jenis Citra SAR	Jumlah Titik PS radius $\pm 4,5$ km	Nilai Estimasi Rata-rata Kec. Deformasi (mm/thn)	Nilai Rata-rata Std. Dev (mm)
ALOS PALSAR-1	6.244	<i>Uplift</i> : +46,87 <i>Subsidence</i> : -21,52	4,28
Sentinel 1A	1.230	<i>Uplift</i> : +3,36 <i>Subsidence</i> : -1,98	1,77

Pada Tabel 5 terlihat bahwa nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS di kawasan manifestasi Lumpur Gunung Wringinanom pada Citra ALOS PALSAR 1 di tahun 2007-2009 mengalami kenaikan (*uplift*) sebesar 46,87 mm/tahun dan juga mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 21,52 mm/tahun. Sedangkan hasil nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS dari pengolahan PS-InSAR pada Citra Sentinel 1A di tahun 2015-2019 menggambarkan mengalami kenaikan muka tanah di sekitar manifestasi gunung lumpur sebesar 3,36 mm/tahun dan mengalami penurunan muka tanah sebesar 1,98 mm/tahun pada wilayah disekitar area permukiman dan jalan.

7. Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki

Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki berlokasi di daerah persawahan, dimana titik PS tidak terlihat rapat di daerah tersebut. Hal ini diindikasikan bahwa citra radar tidak memiliki energi pantulan yang baik pada Citra ALOS PALSAR 1 maupun Sentinel 1A. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil plot estimasi *velocity rate* PS-InSAR wilayah Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki, Jawa Timur pada (a) Citra ALOS PALSAR 1, dan (b) Citra Sentinel 1A

Hasil nilai estimasi deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki yaitu sebagai berikut :

Tabel 6. Nilai Estimasi Deformasi muka tanah akibat manifestasi Gunung Lumpur Wringinanom

Jenis Citra SAR	Jumlah Titik PS radius $\pm 4,5$ km	Nilai Estimasi Rata-rata Kec. Deformasi (mm/thn)	Nilai Rata-rata Std. Dev (mm)
ALOS PALSAR-1	917	<i>Uplift</i> : +143,09 <i>Subsidence</i> : -109,99	4,80
Sentinel 1A	201	<i>Uplift</i> : +2,88 <i>Subsidence</i> : -0,83	1,68

Pada Tabel 6 terlihat bahwa nilai estimasi kecepatan rata-rata LOS di kawasan manifestasi Lumpur Gunung Bujhel Tasek Bini dan Laki pada Citra ALOS PALSAR 1 di tahun 2007-2009 mengalami kenaikan (*uplift*) sebesar 143,09 mm/tahun dan juga mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*) sebesar 109,99 mm/tahun. Sedangkan hasil pola deformasi dari pengolahan PS-InSAR pada Citra Sentinel 1A di tahun 2015-2019 menggambarkan mengalami kenaikan hampir di seluruh area sebesar 2,88 mm/tahun dan terjadi penurunan muka tanah rata-rata sebesar 0,83 mm/tahun.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa pada hasil *plotting* dengan Citra ALOS PALSAR-1 diseluruh daerah penelitian tidak dapat dijadikan sebagai referensi informasi deformasi karena hasil pengolahan tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya akibat syarat-syarat pengolahan PS-InSAR yang tidak terpenuhi. Sedangkan untuk hasil *plotting* dengan Citra Sentinel 1A pada manifestasi gunung lumpur didapatkan hasil deformasi pada radius $\pm 4,5$ km, wilayah Gunung Lumpur Sidoarjo mayoritas mengalami laju kecepatan rata-rata -5,46 mm/tahun, Gunung Lumpur Gununganyar mengalami laju kecepatan rata-rata +1,71 dan -7,08 mm/tahun, Gunung Lumpur Kalanganyar mengalami laju kecepatan +0,99 mm/tahun, Gunung Lumpur Wringinanom mengalami laju kecepatan rata-rata +3,36 mm/tahun, Gunung Lumpur Bujhel Tasek Bini dan Laki mengalami laju kecepatan rata-rata +2.88 mm/tahun. Nilai dan pola deformasi lahan yang dihasilkan bervariasi sesuai dengan morfologi manifestasi gunung lumpur, kondisi geologi, dan lingkungan sekitarnya.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada European Space Agency (ESA) yang telah menyediakan set data citra SAR Sentinel 1A dan Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) yang telah menyediakan ALOS PALSAR-1 serta Prof. Danielle Perisin dan tim SARPROZ (Copyright © 2009-2016 Daniele Perissin) yang telah menyediakan lisensi untuk pemrosesan data SAR. Penulis juga berterimakasih kepada pengembang Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel dkk., 2013) dan MATLAB ® serta Google Maps™ dan Google Earth™ yang telah penulis gunakan untuk pembuatan visualisasi hasil penelitian.

Daftar Pustaka

- Crosetto, M., Devanthery, N., Cuevas-Gonzalez, M., Monserrat, O., & Crippa, B. (2015). *Exploitation of the full potential of PSI data for subsidence monitoring*. Proc. IAHS, 372, 311–314. <https://doi.org/10.5194/piahs-372-311-2015>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). *Persistent Scatterer Interferometry: A review*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol.15. hal. 78–89: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- Fárová, K., J Jelének, V Kopačková-Strnadová, & P Kycl. (2019). *Comparing DInSAR and PSI Techniques Employed to Sentinel-1 Data to Monitor Highway Stability: A Case Study of a Massive Dobkovičky Landslide, Czech Republic*. *Remote Sensing, MDPI* 11(22), 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs11222670>
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. No.1. Vol.39. hal. 8–20.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., & Rocca, F. (2007). *InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation*. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation (TM-19, February 2007).
- Milkov, A.V. (2003). *Global Distribution Of Mud Volcanoes And Their Significance As An Indicator Of Active Petroleum Systems, A Source Of Methane In The Atmosphere And Ocean, And A Geohazard*. Advanced Research Workshop Mud Volcanism, Geodynamics, and Seismicity. Baku, Azerbaijan. May 20-22.
- Perrisin, D. (2016). SARPROZ software manual. Official Product Web Page : <http://www.sarproz.com>
- Ruiz-Armenteros, A. M., Bakon, M., Lazecky, M., Delgado, J. M., Sousa, J. J., Perissin, D., & Carro-Cuenca, M. (2016). Multi-Temporal InSAR processing comparison in presence of high topography. *Procedia Computer Science*. Vol. 100. hal. 1181-1190.
- S. Amelinda, K., & Santosa, B. J. (2016). Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah Pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. No.1. Vol.5. hal. B6-B10.
- Satyana, A. H., & Asnidar. (2008). *Mud Diapirs And Mud Volcanoes In Depressions Of Java To Madura : Origins, Natures, And Implications To Petroleum System*. Proceedings, Indonesian Petroleum Association ThirtySecond Annual Convention & Exhibition 2, 1–34.
- Virk, A. S., Singh, A., & Mittal, S. K. (2019). Monitoring And Analysis Of Displacement Using Insar Techniques For Gulaba Landslide Site. *Journal of Engineering Science and Technology*. No.3 Vol.14. hal.1558–1571.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F., & Wobbe, F. (2013). EOS Trans. AGU. No.45. Vol.94. hal. 409–410: <https://doi.org/10.1002/2013EO450001>

Yulyta, S. A., Taufik, M., & Hayati, N. 2015. Studi Pengamatan Penurunan Dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo). *Geoid*. No.1. Vol.11. hal. 62: <https://doi.org/10.12962/j24423998.v11i1.1100>



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).