

Analisis Deformasi Jalan Penghubung Antara Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin Tahun 2015 dan 2021 Menggunakan Metode *Interferometry Synthetic Aperture Radar*

Taufan Yanuar Muslim^a, Nia Kurniadin^b, Dyah Widayasi^c, & Romansah Wumu^b

^a Program Diploma 3 Teknologi Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

^b Program Studi Teknologi Rekayasa Geomatika dan Survei, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

^c Program Studi Teknologi Geomatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Samarinda

ABSTRACT

The rise of coal mining in the East Kalimantan area which is close to public road access is thought to affect the quality and sustainability of surrounding public road access. The aim of this research is to determine the use of remote sensing data to analyze land subsidence or deformation that occurs on the connecting road between Sanga-Sanga Dalam Village and Pendingin Village, Sanga-Sanga District, Kutai Kartanegara Regency. The method used in this research is quantitative descriptive, namely determining ground deformation on roads obtained by analyzing Sentinel-1 imagery in 2015 and Sentinel-1 imagery in 2021. Ground deformation can be identified using a satellite-based remote sensing method through interferometry of two SAR images (interferometry synthetic aperture radar or InSAR) uses the Sentinel application platform (SNAP) which is an open source software (FOSS) application. Interferometry can represent changes in the line of sight between the ground and satellites in general. Changes in line of sight can be interpreted as signals of ground deformation. The results of this research can provide adequate information regarding comparative data on land elevation on the Sanga-Sanga Dalam - Pendingin road from several points experiencing land subsidence or deformation on average of 161.3 cm with an average land subsidence rate of 23.04 cm/year. Thus, remote sensing technology using the InSAR technique can be used to determine changes that occur in a short time and at low cost.

ARTICLE HISTORY

Received: July 10, 2023

Accepted: August 21, 2021

Published: September 29, 2023

KEYWORDS

Deformasi, inSAR, Remote Sensing, SNAP, Sentinel-1.

CORRESPONDING AUTHOR

Nia Kurniadin

Email: niakurniadin@politanisamarinda.ac.id

How to cite: Muslim, T. Y., Kurniadin, N., Widayasi, D., & Wumu, R. (2023). Analisis Deformasi Jalan Penghubung Antara Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin Tahun 2015 dan 2021 Menggunakan Metode *Interferometry Synthetic Aperture Radar*. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science (JGETS)*, 2(1), 8-13. <https://doi.org/10.51967/gets.v2i1.28>

1. PENDAHULUAN

Maraknya pertambangan batubara di daerah Kalimantan Timur yang berdekatan dengan akses jalan umum sehingga diduga mempengaruhi kualitas dan keberlanjutan akses jalan umum di sekitarnya. Apabila hal ini berlangsung dalam periode waktu yang lama

maka fenomena ini akan menyebabkan deformasi pada jalan di sekitar areal tambang tersebut.

Deformasi tanah adalah perubahan permukaan tanah dan keterkaitannya dengan proses seismotektonik seperti gempa bumi, patahan, vulkanisme, tanah longsor; proses antropogenik seperti pemompaan air tanah dan penambangan; atau fenomena lingkungan lainnya seperti glasiasi dan deglasiasi.

CONTACT Nia Kurniadin ✉ niakurniadin@politanisamarinda.ac.id

© 2023 The Author(s). Published by Tanesa Press, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits, unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Sebagian besar proses ini dikaitkan dengan pergerakan lempeng yang disebabkan oleh konveksi mantel, yang dapat dijelaskan dengan teori lempeng tektonik (Bercovidi, 2003).

Deformasi didefinisikan pula sebagai perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi baik secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut (Kuang, 1996 dalam Vidyan, 2013).

Menurut Whitaker & Reddish (1989), penurunan tanah dapat didefinisikan turunnya elevasi permukaan tanah terhadap bidang referensi yang dianggap stabil. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah. Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter. Adapun beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah yaitu: 1) Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya; 2) Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi; 3) Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi/ konsolidasi, penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*; 4) Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).

Pemerintah seakan mendukung perusahaan tambang untuk menggunakan jalan umum, hal ini terbukti dengan disahkannya UU No 3 tahun 2020 dalam pasal 91 ayat 3 di mana pemerintah mempersilahkan pemegang Ijin Usaha Pertambangan (IUP) untuk memanfaatkan sarana dan prasarana umum termasuk di dalamnya jalan umum yang menjadi fokus dalam studi ini. Kenyataan di lapangan membuktikan bahwa penggunaan jalan umum berpengaruh terhadap keberlangsungan jalan tersebut terutama karena jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin berada sangat dekat (di bawah 100 m) dengan *open pit* dari pertambangan batubara milik PT. Indomining. Tentu hal ini sangat berpengaruh terhadap kualitas tanah yang menyangga jalan tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi saran kepada pemerintah untuk memisahkan antara sarana

dan prasarana umum dan industri (swasta) agar masyarakat sekitar tidak dirugikan oleh aktivitas pertambangan yang ada di daerah tempat tinggalnya. Perlu dilakukan pemantauan lebih lanjut agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan pada jalan tersebut yang merupakan kewajiban Negara terhadap keamanan warga Negara.

Pemantauan penurunan muka tanah di suatu wilayah dapat dikaji dengan beberapa metode geodesi, baik itu dengan pengukuran terestris seperti survei sipat datar (*levelling*), survei *Total Station* dan survei GPS (*Global Positioning System*), maupun dengan metode ekstraterestris yang saat ini banyak dikembangkan seperti teknologi LiDAR dan teknologi radar. Meskipun metode ekstraterestris ketelitiannya masih di bawah metode terestris, namun metode ini mampu melakukan pengamatan dan penilaian pada daerah yang luas dengan waktu yang lebih cepat.

Salah satu metode teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka tanah adalah DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah metode yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan penurunan muka tanah dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter. Selain itu, pengamatan dengan metode DInSAR ini dapat dilakukan dengan biaya yang rendah menggunakan citra SAR Sentinel-1 yang disediakan secara gratis dan diolah dengan perangkat lunak SNAP yang berbasis sumber terbuka (*open source*) (Islam et al., 2017).

Pemantauan deformasi tanah menggunakan metode InSAR telah banyak dilakukan seperti yang dilakukan oleh Islam et al. (2017), untuk mengetahui penurunan permukaan tanah di Kota Semarang, menggunakan metode *two-pass interferometry* dengan *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 30 m sebagai referensi untuk tofografi. Juga telah dilakukan penelitian tentang deformasi tanah yang terjadi akibat gempa bumi yang terjadi di Lombok menggunakan InSAR yang dikembangkan untuk menurunkan model elevasi untuk suatu area tertentu atau suatu titik tertentu pada permukaan bumi (Agustan et al., 2019).

Dalam bidang neotektonik, InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) merupakan teknik penginderaan jauh yang menggunakan citra satelit radar. Sorotan gelombang radar dikirimkan dengan konstan ke muka bumi, dan citra dihasilkan berdasarkan gelombang yang kembali. Intensitas gelombang yang dipantulkan mencerminkan komposisi permukaan bumi, tetapi fase gelombang yang telah menyentuh permukaan bumi dan terpantulkan juga direkam. Membandingkan fase gelombang memungkinkan kita untuk memantau ketinggian dan

geometri permukaan hingga skala milimeter, yang mencerminkan gerakan tektonik aktif yang berhubungan dengan gempa. Sebagai tambahan, DEM (*Digital Elevation Model*) yang akurat dapat dihasilkan dari metode ini (Fossen, 2010 dalam Sunu et al., 2019).

Data SAR yang digunakan dalam metode penginderaan jauh memiliki banyak kelebihan, seperti SAR mampu menembus awan di mana sensor pasif pada umumnya tidak mampu menembus awan, SAR juga merupakan sensor aktif yang berarti tidak dipengaruhi oleh keadaan siang atau malam, akuisisi data SAR yang cepat dan ini bisa diaplikasikan untuk pemantauan yang memerlukan temporal yang cepat, mampu menghasilkan tampilan sinoptik (Septiana, 2017 dalam Sunu et al., 2019).

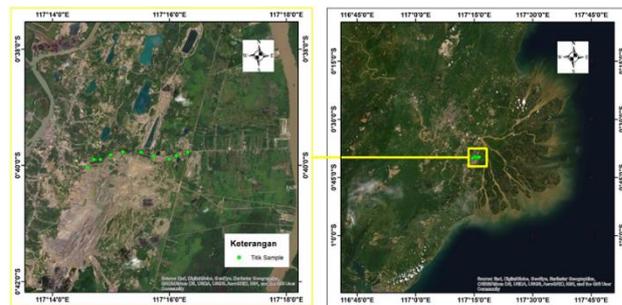
Pentingnya penelitian pengamatan penurunan muka tanah menggunakan metode DInSAR dengan citra Sentinel-1 adalah hasil penelitian ini dapat menunjukkan pola dan kecepatan penurunan muka tanah di jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin di Kabupaten Kutai Kartanegara. Ketertarikan untuk mengamati jalan tersebut adalah untuk mengetahui apakah ada korelasi antara keberadaan *open pit* tambang batubara di sekitar jalan dan deformasi jalan tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan nilai deformasi menggunakan metode *Interferometry Synthetic Aperture Radar* dan berapa nilai deformasi rata-rata selama waktu pengamatan. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui deformasi yang terjadi pada tahun 2015 dan 2021 di jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin menggunakan metode DInSAR dan mengetahui rata-rata deformasi pertahun di jalan tersebut.

2. METODE

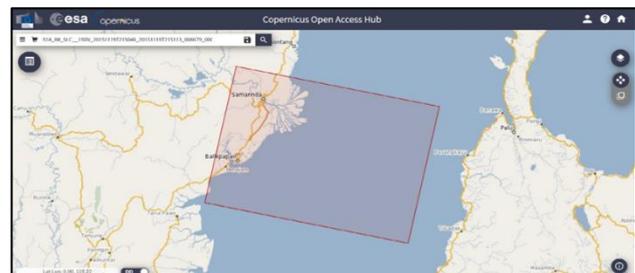
2.1. Lokasi, Peralatan, dan Data Penelitian

Lokasi sebagai objek pada penelitian ini adalah Jalan Jaya Makmur yang merupakan jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin, Kecamatan Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur yang secara geografis terletak antara 117.243624 BT - 117.271859 BT dan 0.662872 LS - 0.664990 LS.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras komputer dan perangkat lunak ESA SNAP 8.0, ArcGIS 10.8, dan Google Earth. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: 2 *scenes* data satelit Citra Sentinel-1 yang diperoleh dan diunduh dari portal *European Space Agency* (ESA) (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) seperti terlihat pada Gambar 2, dengan list data seperti pada Tabel 1.



Gambar 2. Liputan Wilayah Citra dalam Portal Data Sentinel

Tabel 1. Data Citra Sentinel-1 yang Digunakan

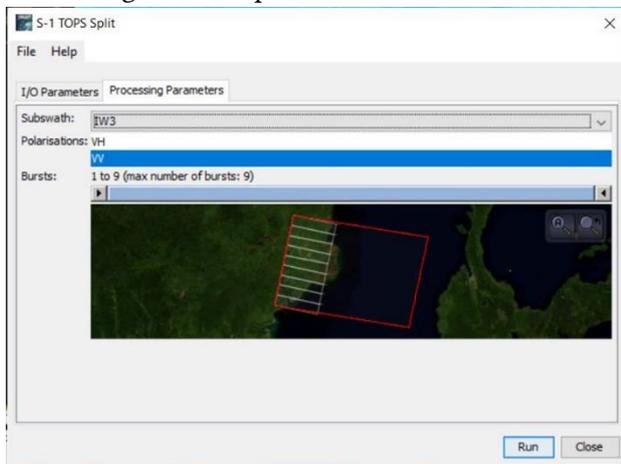
Scene ID	Local Time Observation
S1A_IW_SLC__1SDV_20151119T215046_20151119T215113_008679_00C57B_267B.zip	20 Nov 2015; 05:50AM Descending orbit
S1A_IW_SLC__1SDV_20211217T215116_20211217T215143_041054_04E096_0074.zi	17 Des 2021; 05:51AM Descending orbit

2.2. Pengolahan Data

Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit sentinel 1 dengan rincian yang tertera pada (Tabel 1) dan merupakan hasil unduh dari laman *European Space Agency* (ESA). Data-data yang diperoleh kemudian dipasangkan masing-masing mempunyai data *master* dan *slave* sendiri. Artinya dalam satu pasang terdapat dua data satelit. Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan pasangan satelit adalah pastikan estimasi jarak utama (*baseline perpendicular*) *master* dan *slave* tidak begitu besar untuk menghindari koherensi antardata

yang buruk. Informasi ini dapat dilihat pada menu *InSAR Stack Overview* di perangkat lunak SNAP.

Proses selanjutnya di perangkat lunak SNAP antara lain adalah koregistrasi citra untuk menyatukan antar piksel *master* dan *slave*. Citra yang didapatkan memiliki tiga *sub-swath* (IW1, IW2, dan IW3). Setiap *sub-swath* terdiri dari 9-10 *burst*. Pada penelitian ini wilayah Sanga-Sanga berada di IW3 dan pada masing-masing pasangan citra. Pemilihan *sub-swath* dan *burst* dilakukan sesuai dengan daerah penelitian.



Gambar 3. Pemilihan *Sub-Swath* dan *Burst*

Dalam tahap ini juga dilakukan proses koreksi orbit dengan *Sentinel Precise* dan tahapan *back-geocoding* dengan DEM SRTM 3 sec dengan resolusi 30 meter yang diunduh secara otomatis dan menggunakan metode *resampling bilinear interpolation* (metode pencitraan untuk meningkatkan atau mengurangi jumlah piksel dalam gambar digital sehingga menghasilkan gambar yang bagus). Tahapan selanjutnya adalah pembentukan interferogram dan koheren. Semakin kecil nilai koherensi maka semakin rendah tingkat kecocokan antar citra tersebut (Hartl, 1996).

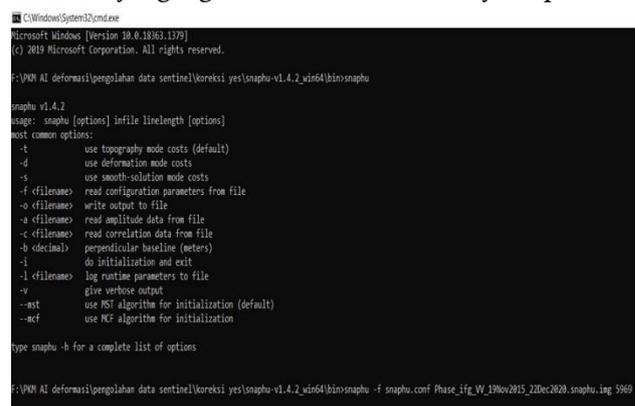
Apabila nilai koherensi sudah lebih dari 0,2 maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Namun, rata-rata nilai koherensi yang sering didapatkan adalah sekitar 0,3 sehingga dapat langsung dikerjakan pada proses *TOPSAR Deburst*. *TOPSAR Deburst* merupakan proses untuk pemfokusan daerah penelitian ini juga baik untuk mengurangi lama proses running perangkat lunak.

Kemudian dilakukan penghapusan fasa topografi, di mana tahap ini membuat simulasi interferogram berdasarkan referensi DEM dan men-substraksikan fasa topografi dari interferogram yang diolah. DEM yang digunakan pada tahapan ini adalah DEM SRTM 3 sec yang terunduh otomatis dalam perangkat lunak SNAP. Dalam pembuatan interferogram selanjutnya, dilakukan teknik *filtering* yang berfungsi untuk

mereduksi *fasa noise*, yakni *Goldstein Filtering* menggunakan setelan tetap (*default*) dari fitur SNAP.

Setelah di filter, langkah berikutnya dilakukan *Multilooking* yang berfungsi untuk mengurangi *fasa noise* pada citra SAR dengan membentuk piksel mendekati bujur sangkar. Namun, fasa-fasa yang sudah terbentuk dalam pemrosesan sampai *Multilooking* masih mengandung fasa ambiguitas, sehingga perlu dihilangkan fasa ambiguitas tersebut menjadi fasa absolut.

Fase *unwrap* pada *command prompt* akan mengkalkulasikan deformasi yang terjadi di liputan wilayah studi yang diinput melalui proses sebelumnya. Proses ini memakan waktu relatif lama tergantung pada *hardware* yang digunakan dan luasan wilayah liputan.



Gambar 4. Proses *Unwrapping*

Proses ini disebut *Phase Unwrapping* yang dikerjakan dalam perangkat lunak SNAPHU bersistem operasi Linux. Sebelumnya, untuk memasuki proses ke SNAPHU, hasil tahapan *multilooking* perlu diekspor *unwrap* dalam perangkat lunak SNAP. Setelah proses di SNAPHU selesai, dapat dikerjakan lagi menggunakan SNAP setelah impor *unwrap*.

Prosedur selanjutnya dilakukan konversi data *unwrap* menjadi fasa ke tinggi untuk mengetahui perbedaan tinggi dari proses DInSAR atau mengonversi dari *slant to height* dengan menggunakan *Phase to Displacement* di perangkat lunak SNAP. Langkah selanjutnya adalah *geocoding*, yakni dalam SNAP disebut *RangeDoppler Terrain Correction*. Hasil *geocoding* ini yang digunakan selanjutnya untuk membuat peta spasial penurunan muka tanah.

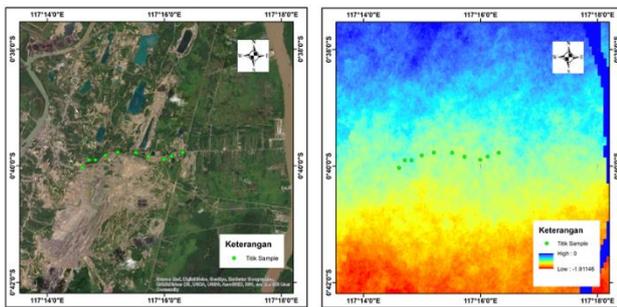
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan 2 *scenes* citra satelit Sentinel-1 tahun 2015 dan 2021 sesuai dengan data yang disajikan pada Tabel 1. Dari pengolahan kedua data Sentinel-1 berjenis SLC yang telah dilakukan melalui metode DInSAR pada lokasi studi menggunakan titik sampel dengan jumlah 10 diperoleh bahwa penurunan muka

tanah pada titik sampel bervariasi antara 158 -164 cm dengan rata-rata penurunan 161 cm. Rata-rata penurunan didapat dari penjumlahan nilai penurunan dibagi dengan jumlah titik sampel.

Berdasarkan nilai penurunan muka tanah yang telah dihasilkan melalui pengolahan data maka didapat bahwa penurunan muka tanah pertahun berkisar antara 22,62 cm – 23,55 cm. Nilai ini didapat dari total penurunan muka tanah 2015-2021 dibagi lama waktu studi yaitu 7 tahun. Nilai penurunan muka tanah tahunan yang telah didapat kemudian dirata-rata dengan cara dijumlahkan kemudian dibagi dengan jumlah sampel yang diambil.

Data citra Sentinel-1 yang telah diolah menggunakan metode DInSAR selanjutnya dilakukan *overlay* dengan peta dasar dan titik sampel yang telah diambil di sepanjang daerah penelitian. Proses *overlay* dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran posisi serta visualisasi kondisi alam sebenarnya di lapangan pada Gambar 5 dan diperoleh data penurunan muka tanah pada 10 titik sampel yang tersaji pada Tabel 2.



Gambar 5. Hasil *Overlay* Titik Sampel dan Data Citra Google Earth

Tabel 2. Data Displacement Pada Titik Sampel dalam Meter

No	Longitude	Latitude	Displacement 2015-2021	Rata-Rata Displacement/tahun
1	117,243624	-0,664990	-1,606253	-0,229464
2	117,245130	-0,667761	-1,583574	-0,226224
3	117,247047	-0,664997	-1,583714	-0,226245
4	117,249944	-0,663639	-1,618480	-0,231211
5	117,253379	-0,662808	-1,616442	-0,230920
6	117,258557	-0,662873	-1,605381	-0,229340
7	117,258557	-0,664026	-1,628077	-0,232582
8	117,266576	-0,664860	-1,648931	-0,235561
9	117,268706	-0,663936	-1,615712	-0,230816
10	117,271859	-0,662872	-1,621956	-0,231708
Rata-rata			-1,613	-0,2304

Studi jalan penghubung antara Kelurahan Sanga-Sanga Dalam menuju Kelurahan Pendingin ini menggunakan 2 citra Sentinel-1 dengan tipe data SLC.

Tipe data ini dipilih agar dapat merepresentasikan perubahan elevasi yang terjadi pada wilayah studi.

Rentang waktu yang digunakan dalam studi adalah 7 tahun (tahun 2015 dan tahun 2021) hal ini dilakukan untuk meringkas waktu pengolahan data sehingga didapat nilai deformasi secara keseluruhan waktu studi walaupun tidak dapat menjelaskan penurunan tiap tahunnya namun cara ini dinilai lebih praktis untuk memproses data dalam rentang waktu yang panjang. Hal lain yang melatarbelakangi digunakannya metode ini adalah untuk menghemat *storage* yang digunakan dalam pengolahan data, di mana tiap pasang data yang diolah membutuhkan *storage* sekitar 40GB. Tentu saja analisis *time series* tiap tahun pengamatan membebani *device* yang digunakan. Agar pengamatan lebih mudah disajikan maka dilakukan pengamatan terhadap 10 titik sampel untuk memetakan rata-rata deformasi tahunan yang terjadi di jalan tersebut.

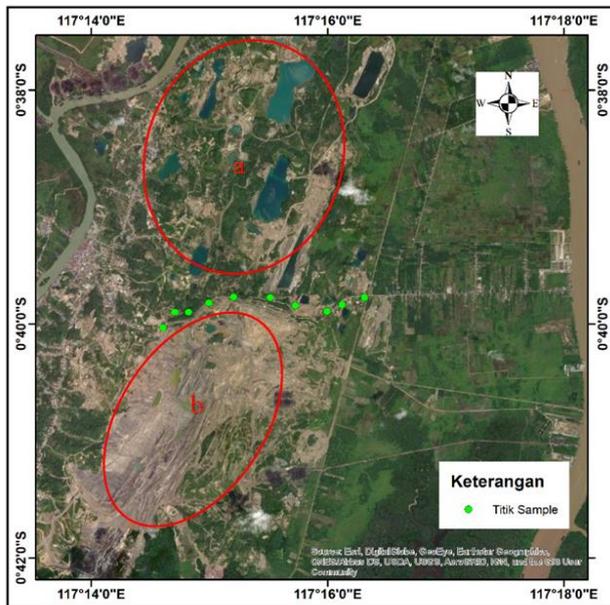
Sepuluh titik sampel yang kami ambil sebagai titik kontrol sehingga meminimalisir kesalahan dalam penyajian data dan data yang dihasilkan menjadi lebih akurat. Pengambilan titik sampel dilakukan dengan cara *marking* pada badan jalan daerah penelitian sepanjang jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam menuju Kelurahan Pendingin.

Data citra Sentinel-1 yang telah diolah menggunakan metode interferometri selanjutnya dilakukan *overlay* dengan peta dasar dan titik sampel yang telah diambil di sepanjang daerah penelitian. Proses *overlay* dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran posisi serta visualisasi kondisi alam sebenarnya di lapangan.

Dari 10 titik sampel yang kami uji diperoleh rata-rata penurunan sebesar 23,04 cm/ tahun, dan tentu ini bukan hal yang baik dari hasil analisa sebuah studi deformasi. Dari data data yang telah dihimpun dan uji melalui metode ini tentu butuh penanganan sebagai mitigasi dari keberlangsungan jalan penghubung tersebut.

Berdasarkan validasi secara visual menggunakan citra peta dasar diperoleh informasi bahwa di sebelah kiri dan kanan sepanjang jalan penghubung Kelurahan Sanga-sanga Dalam menuju Kelurahan Pendingin merupakan daerah *open pit* pertambangan batu bara.

Pada Gambar 6 notasi b merupakan tambang milik PT. Indomining yang masih aktif beroperasi dan notasi a merupakan lahan bekas tambang yang telah ditinggalkan tanpa reklamasi. Baik tambang yang aktif maupun non aktif tentu memiliki dampak terhadap keberlangsungan jalan penghubung Kelurahan Sanga-Sanga Dalam dan Kelurahan Pendingin dalam jangka panjang.



Gambar 6. Kenampakan Daerah Sekitar dan Lokasi Tambang Batubara

Sehingga dapat diasumsikan bahwa salah satu penyebab terjadinya deformasi tanah tersebut terjadi akibat penambangan batu bara yang dilakukan di daerah tersebut. Perlu adanya studi lanjutan menggunakan metode terestris untuk memperoleh data deformasi tanah yang lebih teliti untuk mendukung informasi yang diperoleh dari hasil penggunaan metode penginderaan jauh menggunakan citra Sentinel-1 yang dilakukan.

Perlu dilakukan perbandingan data dengan data penurunan tahunan agar didapat kurva laju penurunan yang lebih detil dari rata-rata yang telah disajikan sehingga dapat diperkirakan laju penurunan di masa mendatang. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu bahan kajian agar dapat diadakan tinjauan kembali pada UU No 3 tahun 2020 dalam pasal 91 ayat 3 agar tidak menimbulkan kerugian serupa dengan daerah studi dalam penelitian ini.

4. KESIMPULAN

Penggunaan teknologi penginderaan jauh dengan metode interferometri pada citra Sentinel-1 dapat digunakan untuk mendeteksi terjadinya deformasi di jalan penghubung antara Kelurahan Sanga-sanga Dalam menuju Kelurahan Pendingin. Diasumsikan salah satu penyebab deformasi terjadi akibat adanya operasi pertambangan batu bara di sekitar jalan tersebut. Perubahan yang terjadi pada elevasi data sampel yang diambil bervariasi antara 158-164 cm dalam jangka waktu studi dengan rata-rata laju penurunan muka tanah tiap tahunnya 23,04 cm.

5. REFERENSI

- Agustan, Hanifa, R. N., Anantasena, Y., Sadly, M., & Ito, T. (2019). Ground Deformation Identification related to 2018 Lombok Earthquake Series based on Sentinel-1 Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 280(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012004>
- Bercovidi, D. (2003). The Generation of Plate Tectonic from Mantle Convection. *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3–4), 107–121.
- Islam, L. J. F., Prasetyo, Y., & Sudarsono, B. (2017). Analisis Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode Dinsar Pada Perangkat Lunak Snap. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(2), 29–36.
- Sunu, H. A., Yuwono, B. D., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Ketelitian DSM Kota Semarang Dengan Metode Insar Menggunakan Citra Sentinel-1. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(3), 17–26.
- Vidyan, Y. dkk. (2013). Pemanfaatan Metode TLS (Terrestrial Laser Scanning) untuk Pemanfaatan Deformasi Gunung Api, Studi Kasus: Kerucut Silinder Gunung Galunggung, Jawa Barat. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 4(1), 49–69.
- Whitaker, B. N., & Reddish. (1989). Subsidence Occurrence, Prediction, and Control. In *Elsevier Science Publishing Company INC*.