

Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Untuk Memperkirakan Penurunan Tanah Diberbagai Tipe Penggunaan Lahan

Yudi Antomi¹, Fajrin^{2*} 

¹Teknologi Penginderaan Jauh, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

²Teknik Geodesi, Institut Teknologi Padang, Padang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received July 18, 2022

Revised July 9, 2022

Accepted September 20, 2022

Available online October 25, 2022

Kata Kunci:

Sentinel 1, Penurunan Tanah, PL

Keywords:

Sentinel 1, Land Subsidence, Land Cover/Land Use



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Ada keperihatinan tentang kemungkinan penurunan tanah yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan, sosial dan ekonomi. Lebih lanjut, belum ada pengukuran langsung dari laju penurunan tanah dan hubungannya dengan penggunaan lahan yang ada. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis penurunan tanah pada setiap penggunaan lahan. Penggunaan data satelit Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) untuk penilaian penurunan tanah dan Data Landsat 8 OLI/TIRS untuk memetakan penggunaan lahan merupakan pendekatan penelitian ilmiah yang mapan. Data satelit Sentinel-1 dan Landsat 8 OLI/TIRS menyediakan cakupan geografis yang luas, akuisisi reguler, dan akses terbuka. Penelitian ini menggunakan teknologi dengan citra Sentinel-1 SAR untuk memantau penurunan tanah dan Landsat 8 OLI/TIRS untuk memetakan penggunaan lahan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode DInSAR digunakan untuk menganalisis serangkaian citra Sentinel-1A di sepanjang jalur orbit naik menilai penurunan tanah, serta citra Landsat 8 OLI/TIRS menggunakan teknik OBIA untuk menganalisis tutupan lahan yang selanjutnya dihubungkan dengan penurunan tanah menggunakan perangkat sistem informasi geografis. Hasil penelitian menunjukkan pola spasial penurunan tanah nilai yang tinggi berada di sebelah barat yang merupakan daerah pusat kota yang banyak terdapat area terbangun. Secara keseluruhan, teknik ini efektif memetakan, mengidentifikasi penurunan muka tanah di berbagai jenis penggunaan lahan khususnya area terbangun. Hal ini akan memungkinkan mendeteksi awal untuk pengendalian bahaya yang disebabkan oleh penurunan muka tanah.

ABSTRACT

The Padang city is located on the west coast of the Sumatera island. There are concerns about possible land subsidence in the padang city, which contributes to the economic, social and environmental impact. Furthermore, there has been no direct measurement of the rate of land subsidence and its relationship to land use in the Padang city. The purpose of this study was to assess land subsidence for each land use in the Padang city. The use of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) satellite data for land subsidence assessments and Landsat 8 OLI/TIRS data for mapping land use is a well-established scientific research approach. Sentinel-1 and Landsat 8 OLI/TIRS satellite data provide broad geographic coverage, regular acquisition, and open access. This study uses technology with Sentinel-1 SAR imagery to monitor land subsidence and Landsat 8 OLI/TIRS to map land use in Padang City. The method used in this study using the DInSAR method was used to analyze a series of Sentinel-1A images taken from December 2019 and December 2019 along an ascending orbital path assessing land subsidence, as well as Landsat 8 OLI/TIRS imagery using the OBIA technique to analyze land cover which was subsequently associated with land subsidence in the Padang city using a geographic information system. The results showed that the spatial pattern of land subsidence was high in the west, which is the city center where there are many built-up areas. Overall, this technique is effective in mapping, identifying land subsidence in various types of land use, especially built-up areas. This will allow early detection to control hazards caused by subsidence.

1. PENDAHULUAN

Penurunan tanah merupakan masalah yang berkembang saat ini dan akan mempengaruhi ratusan juta orang di seluruh dunia (Herrera-García et al., 2021). Penurunan tanah dapat disebabkan oleh pemadatan alami dan aktivitas manusia (Bagheri-Gavkosh et al., 2021; Zoysa et al., 2021). Namun, sebagian besar penurunan tanah disebabkan oleh aktivitas antropogenik, termasuk eksploitasi air tanah, minyak, dan sumber daya padat lainnya. Penurunan tanah dapat menyebabkan dampak negatif pada kerusakan struktural infrastruktur, hilangnya area pertanian dan/atau dataran yang luas, kerusakan garis pantai dan memiliki dampak negatif lingkungan, ekonomi dan sosial yang signifikan. Dampak negatif ini dapat

*Corresponding author.

E-mail addresses: fajringe@gmail.com (Yudi Antomi)

diperburuk oleh perubahan iklim (misalnya, kenaikan permukaan laut), terutama di daerah pesisir dataran rendah (Shirzaei et al., 2021). Beberapa wilayah kota di Indonesia pernah mengalami penurunan muka tanah seperti Jakarta, Semarang, Bandung, Surabaya, Lampung dan Padang (Abidin et al., 2011; Anjasmara et al., 2020; Bott et al., 2021; Du et al., 2018; Fajrin et al., 2021; Hakim et al., 2020; Widodo et al., 2021; Zaenudin et al., 2018).

Teknik pemantauan penurunan tanah saat ini meliputi pemantauan berbasis darat seperti teknik leveling, global positioning system (GPS), dan juga pemantauan berbasis satelit penginderaan jauh seperti *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Meskipun teknik leveling dan GPS memberikan pengukuran yang tepat dan akurat, namun sangat memakan waktu dan tidak tersedia pada semua tempat (Bott et al., 2021; Galloway & Burbey, 2011; Simmons & Wempfen, 2021). Hanya beberapa kota di Indonesia yang menyediakan data pemantauan berbasis darat ini seperti Jakarta Semarang Bandung dan Surabaya. Dibandingkan dengan dua metode tersebut, teknik InSAR dapat memperoleh berbagai informasi penurunan tanah dengan presisi pemantauannya yang tinggi, mencapai skala millimeter serta jangkauan wilayah yang luas (Hussain et al., 2022; Raspini et al., 2016; Zhang et al., 2019). Penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk pemetaan dan perencanaan tata ruang. Namun, teknik ini belum banyak diterapkan di Indonesia untuk pemantauan perubahan lingkungan perkotaan, meskipun dapat memberikan data penurunan tanah dengan biaya rendah, cepat dan akurat. InSAR merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi deformasi pada permukaan tanah dengan memanfaatkan data dari satelit penginderaan jauh aktif yaitu RADAR (*Radio Detection and Ranging*). Dalam teknik *Differential SAR* (DInSAR), perpindahan tanah dihitung dalam arah radar *line of sight* (LOS) satelit atau pesawat terbang dengan menghitung perbedaan fase antara dua gambar SAR yang terpisah secara temporal (Arangio et al., 2014; Crosetto et al., 2020). Nilai beda fasa ini menunjukkan adanya pergerakan tanah. Interferogram yang terbentuk memiliki efek topografi dan atmosfer, oleh karena itu perlu dilakukan reduksi menggunakan proses *differential interferometry SAR* (DInSAR), sehingga dihasilkan informasi penurunan tanah dan besarnya pergerakan tanah (*subsidence atau uplift*) yang terjadi (Achmad & Lee, 2021; Dang et al., 2021; Du et al., 2018; Ishwar & Kumar, 2017; Sanabria et al., 2014).

Kota Padang hampir tidak memiliki database yang mencakup skala spasial temporal penurunan tanah untuk penanganan masalah penurunan tanah di masa mendatang (Fajrin et al., 2021). Pentingnya deteksi dini terkait penurunan tanah di kawasan tersebut, selain sebagai kota yang rawan bencana. Kota Padang juga diprediksi akan mengalami pertumbuhan penduduk perkotaan yang pesat dan kemungkinan perluasan wilayah kota (Fajrin et al., 2021). Pertumbuhan penduduk dapat menyebabkan perubahan penggunaan lahan dan dapat meningkatkan penggunaan air terutama air tanah, penggunaan air tanah yang berlebihan dapat mempengaruhi keseimbangan air tanah sampai batas tertentu dan menyebabkan evolusi penurunan tanah (Abidin et al., 2015; Rahmati et al., 2019). Adapun tujuan penelitian ini yakni mengidentifikasi penurunan tanah menggunakan data citra Sentinel 1A, untuk menilai ada tidaknya penurunan muka tanah dan pada masing-masing kelas penutup/penggunaan lahan (PL) yang di ekstraksi dari citra Landsat 8 OLI/TIRs di Kota Padang.

2. METODE

Daerah penelitian Kota Padang merupakan daerah yang landai di sebelah barat dan berbukit di sebelah timur. Namun, penelitian ini berfokus pada daerah di sepanjang pantai, dengan topografi yang relatif datar dan merupakan muara dari 10 sungai. Selanjutnya, bagian Kota Padang yang berdataran rendah merupakan kawasan pemukiman dengan kepadatan sedang hingga tinggi yang rawan banjir dengan kombinasi pusat kota dengan infrastruktur pelabuhan selatan dan bandara ke arah utara, selain itu merupakan pusat kegiatan ekonomi. dan juga kawasan pariwisata (gambar 1). Secara geologis Kota Padang di sebelah timur merupakan sesar berbukit/pegunungan dan juga di sebelah selatan merupakan pantai yang terjal, sedangkan di sebelah barat merupakan dataran aluvial, fluvio marine dan fluvio - vulkanik. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan spasial untuk memahami fenomena dalam ruang permukaan bumi yang berkaitan dengan penurunan tanah dan penutup/penggunaan lahan di atasnya. Adapun penelitian ini tergolong dalam penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian diawali dengan pengumpulan data sekunder citra Satelit sentinel 1 A dan Landsat 8 OLI/TIRS mencakup seluruh wilayah penelitian.

Sistem Sentinel-1 adalah konstelasi satelit radar yang terdiri dari dua sensor *Synthetic Aperture Radar* C-band, Sentinel-1A (S-1A), dengan resolusi spasial hingga 5 meter dan jangkauan hingga 400 km. S-1A merupakan satelit pertama yang dikembangkan oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA) untuk *Copernicus Global Earth Observation Project* yang diluncurkan pada April 2014. Sentinel-1 memiliki waktu kunjungan kembali yang singkat yaitu dapat mencapai enam hari dan memberikan polarisasi ganda. Data Sentinel 1 dapat diunduh dari *European Space Agency* (ESA) melalui

Access hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Detail tentang data Sentinel-1 yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Dataset terdiri dari dua citra SAR yang diperoleh pada bulan Desember 2018 (*master*) dan pada bulan Desember 2019 (*slave*) menggunakan data *mode swath Level 1 Interferometric Wide (IW)*, yang memperoleh 3 *sub-swath, Single Look Complex (SLC)* dengan orbit naik disajikan pada Tabel 1. Sedangkan kelas tutupan/penggunaan lahan di wilayah studi menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS dengan resolusi spasial 30 m. Data Landsat 8 OLI/TIRS diperoleh pada bulan Maret 2019 yang yang diunduh langsung dari <https://earthexplorer.usgs.gov> yang terdiri dari 11 pita dimana 9 pita pada sensor *Onboard Land Imager (OLI)* dan 2 pita *Thermal Infrared Sensor (TIRs)* disajikan Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria Sentinel 1 A

Perekaman	Level	Mode	Polarisasi	Sensor
05/12/2018 24/12/2019	1	IW	VV	Sentinel 1

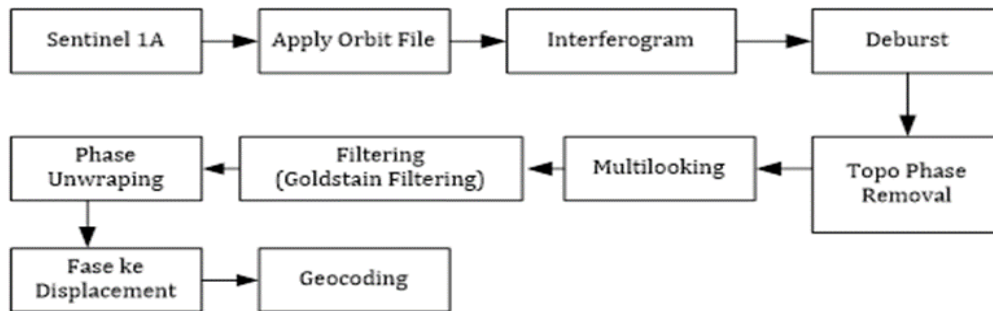
Tabel 2. Kriteria Landsat 8

Perekaman	Sensor id	Path/Row	Layer	Grid Sel
06/03/2019	LC81270612019065LGN00	127/061	11	30



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengolahan dan analisa data, mengolah informasi perpindahan yang terjadi di kota Padang, citra yang digunakan adalah citra pasangan Sentinel-1A *Terrain Observation with Progressive Scans (TOPS) Deburst* untuk mendapatkan hasil berupa interferogram. Kriteria citra Sentinel-1A yang digunakan adalah *Single-Look Complex (SLC)*, mode IW, dan polarisasi VV. Pemrosesan pada rantai interferometrik dikembangkan melalui beberapa tahap dalam perangkat lunak *Sentinel Application Platform (SNAP)*. SNAP adalah perangkat lunak *open source* dari ESA untuk eksplorasi ilmiah pengamatan bumi. Langkah pertama dalam pemrosesan adalah *apply orbit file* untuk memperbaharui gambar dengan posisi orbit yang tepat dan informasi kecepatan yang akan tersedia beberapa hari setelah tanggal akuisisi. Langkah kedua adalah *Co-registration* untuk memastikan bahwa target (*ground target*) berada pada piksel yang sama dalam jangkauan dan azimuth pada gambar *master* dan *slave*. Tahap *co-registration* citra merupakan proses untuk menyelaraskan citra SAR sehingga dapat dihitung selisih antara pasangan piksel citra yang overlap satu sama lain. Pada proses *coreregistration* digunakan metode *back geocoding* dan *Enhanced Spectral Diversity (ESD)*, yang sebelumnya telah diimplementasikan dengan data orbit yang akurat untuk membuat interferogram dan setelah mereduksi fase bumi datar (*flat earth phase*). Langkah selanjutnya adalah menghitung interferogram. Kemudian proses *Deburst* untuk menghilangkan celah antar jalur. Sedangkan *multilook* digunakan untuk mengurangi bintik (*noise*) dan meningkatkan interpretasi gambar. Untuk mengurangi *noise* menggunakan *goldstein filtering (Goldstein & Werner, 1998)*. Selanjutnya melakukan *phase unwrapping* untuk menghilangkan *ambiguous phase* menjadi *absolute phase*, output pada *phase* ini harus di *export* ke perangkat Snaphu dan produk akan di import kembali ke SNAP *device* untuk mengubah *phase* menjadi *displacement*. Langkah terakhir adalah melakukan koreksi medan untuk peta perpindahan tanah menggunakan operator *geocoding* dengan mengimplementasikan metode *orthorektifikasi Range Dopplar Terrain Correction*. Langkah-langkah utama dalam penelitian ini diterapkan dalam lingkungan perangkat lunak SNAP. Secara skematis proses DInSAR pada perangkat lunak SNAP disajikan pada Gambar 2.



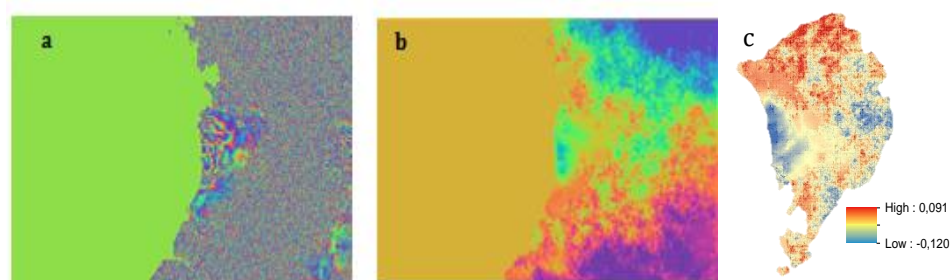
Gambar 2. Alur kerja dari metodologi yang diusulkan dalam perangkat SNAP

Data Landsat 8 OLI/TIRs yang dipilih dengan cakupan awan mendekati nol (< 10%) untuk wilayah kota Padang, kombinasi pita yang digunakan dalam pengolahan data yakni pita 4, 5, 6 dan pita 5, 6, 7. Gambar area uji diproyeksikan di WGS 1984 UTM Zona 47 Selatan. Klasifikasi citra Landsat 8 untuk menghasilkan penutup/penggunaan lahan (PL) di area studi menggunakan pendekatan *Object-Based Image Analysis* (OBIA) (Novelli et al., 2016). Metode klasifikasi berbasis objek merupakan metode klasifikasi OBIA memiliki keunggulan karena menggabungkan berbagai sumber informasi seperti tekstur, bentuk dan posisi sebagai dasar klasifikasi. Secara umum metode OBIA dapat memberikan hasil akurasi yang detail dan meningkatkan hasil klasifikasi citra Landsat. Misalnya, kolam ikan dan sungai keduanya memiliki sifat spektral air. Namun, menggunakan OBIA dapat dibedakan berdasarkan bentuknya, misalnya persegi panjang dan garis. Proses ini menggunakan modul *feature extraction-example base feature extraction* pada perangkat lunak ENVI 5.1 melalui proses *trial* dan *error*. Pada tahap akhir analisis data dalam penelitian ini menggunakan sistem informasi geografis, sistem informasi geografis digunakan untuk menganalisis secara spasial pola penurunan muka tanah pada setiap kelas PL di Kota Padang melalui metode *overlay* peta. Klasifikasi data dilakukan terhadap rata-rata penurunan data pada kelas PL. Semua objek yang dikategorikan sebagai objek air tidak termasuk dalam analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Peta penurunan tanah kota padang. Hasil proses tahap pertama gambar SAR asli mengandung *speckle noise* yang melekat dengan proses multilook untuk mengurangi tampilan *noise* dan meningkatkan interpretasi gambar. Hasil proses selanjutnya yakni penyaringan (*filtering*) fase interferogram untuk mengurangi *noise phase* diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan hasil proses *phase unwrapping* pada perangkat lunak SNAP namun belum dalam satuan metrik sehingga dilakukan proses fase ke *displacement* dengan demikian, nilai positif berarti pengangkatan dan nilai negatif berarti penurunan permukaan tanah sepanjang *line-of-sight* (LOS) dengan satuan metrik. Perpindahan diukur di sepanjang LOS satelit, nilai negatif mewakili pergerakan menjauh dari satelit (yaitu, penurunan tanah) sedangkan nilai positif mewakili pergerakan menuju satelit (yaitu, pengangkatan tanah). Gambar 3 merupakan hasil proses mereposisi (*geocoding*) gambar kedalam koordinat peta. Adapun nilai perpindahan tanah hasil pengolahan pasangan (*master* dan *slave*) citra tersebut setelah dilakukan pemotongan terhadap batas wilayah studi yakni dengan nilai mencapai -12 cm yang mengindikasikan terjadi penurunan tanah, untuk pengangkatan yang terjadi mencapai 9 cm.

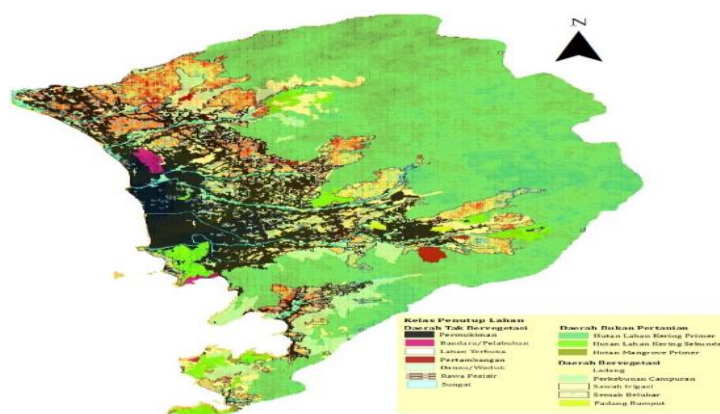


Gambar 3. Hasil proses pengolahan data penurunan tanah Sentinel 1, (a) hasil proses interferometric, (b) *phase unwrapping*, (c) *geocoding*

Selain itu terdapat dekorelasi temporal menyebabkan penurunan nilai koherensi yang merupakan salah satu pembatas dalam memperoleh jumlah maksimum interferogram, nilai koherensi pada C-band secara signifikan lebih rendah di area vegetasi daripada di area terbangun. Hal ini dikarenakan sinyal C-band mungkin tidak dapat menembus kanopi, oleh karena itu terdapat dekorrelasi temporal yang kuat pada tipe PL dengan vegetasi (Arslan et al., 2022; Devaraj et al., 2022; Fárová et al., 2019; Umarhadi et al., 2022) (Fárová et al., 2019, Umarhadi et al., 2021; Devaraj et al., 2022; Arslan et al., 2022.). Bagian barat kota Padang yang merupakan didominasi area terbangun memiliki hasil terbaik di mana reflektor buatan manusia lebih banyak di bagian barat Kota Padang seperti bangunan permukiman. Berdasarkan hasil *trial* dan *error* untuk pemilihan level parameter yang dianggap sesuai untuk kelas PL kota padang yang menggunakan metode *feature extraction- example base feature extraction* dengan segmentasi untuk algoritma *Edge* dengan skala level 45 hingga 55, skala *merge* dengan algoritma *full lamda schedule* dengan level 85 hingga 96 dan dengan tektur kernel ukuran 3. Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut menggunakan 15 sampel poligon untuk 15 kelas PL. Kelas PL diperoleh dari klasifikasi citra Landsat 8 OLI/TIRs untuk wilayah Kota Padang. Hasil klasifikasi dibagi menjadi 3 kelas utama, yaitu daerah bukan pertanian (meliputi: hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan mangrove primer), daerah tidak bervegetasi (meliputi: bandar udara/pelabuhan, danau/waduk, lahan terbuka, pemukiman, pertambangan, rawa pesisir, sungai) dan daerah bervegetasi (termasuk: ladang campuran, padang rumput, sawah irigasi, semak belukar). Sebaran dan persentase luas pada masing-masing PL utama disajikan pada Gambar 4 dan Tabel 3.

Tabel 3. Kelas Penggunaa/Penutup Lahan Kota Padang

Tipe Penutup Lahan	Kelas Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Daerah Tak Bervegetasi	Bandara/Pelabuhan	307,96	0,45
	Danau/Waduk	6,55	0,01
	Lahan Terbuka	90,98	0,13
	Pemukiman	9.608,13	13,96
	Pertambangan	268,58	0,39
	Rawa Pesisir	10,62	0,02
	Sungai	424,34	0,62
Daerah Bukan Pertanian	Hutan Lahan Kering Primer	35.472,5	51,53
	Hutan Lahan Kering Sekunder	2.238,67	3,25
	Hutan Mangrove Primer	62,81	0,09
Daerah Bervegetasi	Ladang	3.734,62	5,43
	Perkebunan Campuran	4.991,86	7,25
	Padang Rumput	108,68	0,16
	Sawah Irigasi	5.430,62	7,89
	Semak Belukar	6.081,42	8,83

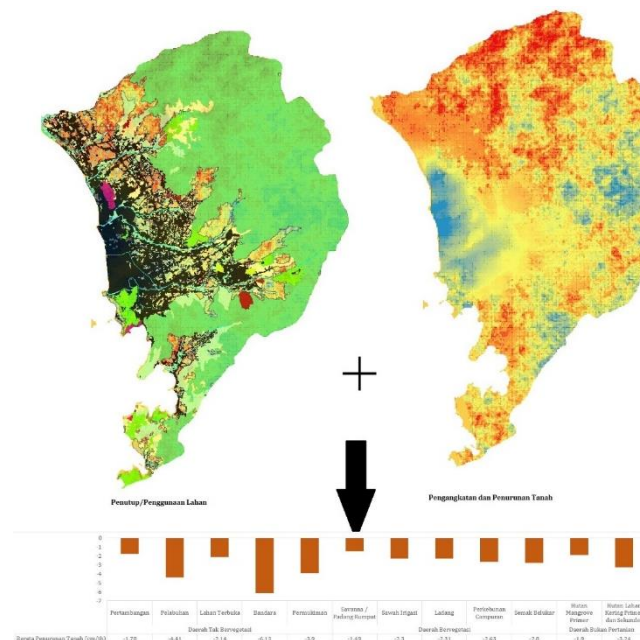


Gambar 4. Penutup/Penggunaan Lahan

Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pola spasial rerata penurunan tanah sangat bervariasi di semua wilayah studi. Penurunan tanah yang dominan terkonsentrasi di daerah dataran rendah bagian barat Kota Padang. Wilayah dataran rendah Kota Padang di sebelah barat didominasi oleh PL pemukiman. Rata-rata penurunan tanah yang tinggi terdapat di perkotaan atau kawasan terbangun (misalnya pemukiman,

pelabuhan dan bandara) berkisar antara -3,90 cm sampai -4,41 cm yang merupakan dataran alluvial, hal ini sejalan dengan teori dan pengamatan penurunan tanah di perkotaan pantai dataran alluvial lain seperti Jakarta, Semarang (Abidin et al., 2011; Islam et al., 2017; Lo et al., 2022; Takagi et al., 2021). Sementara itu situs bandara merupakan area yang mengalami penurunan tanah paling tinggi dengan rata rata mencapai -6,13 cm dibanding dengan jenis penggunaan lahan lain yang ada dikota Padang. Wilayah yang sering mengalami penurunan terutama terletak di dataran pantai dan yang terletak di hilir sungai yang berdekatan dengan pantai terutama yang terbentuk diatas sedimen aluvial dan umumnya mempercepat penurunan tanah. Penyebab alami penurunan tanah, seperti pemadatan tanah aluvial yang tidak terkonsolidasi, sering kali diperkuat oleh aktivitas manusia, seperti pengambilan air tanah dan beban bangunan atau infrastruktur perkotaan (Abidin et al., 2011; Minderhoud et al., 2018). Laju penurunan tanah yang tinggi juga sering terjadi di daerah pesisir yang padat penduduknya (Bagheri-Gavkosh et al., 2021; Herrera-García et al., 2021). Aktivitas antropogenik ini berdampak pada laju penurunan tanah yang di amati di kota Padang. Meskipun laju penurunan lebih besar dari 2 cm diamati di kelas PL seperti hutan lahan kering, semak belukar, dan ladang dan kebun campuran, ada perbedaan antara laju penurunan dan kelas PL yang lebih kecil lainnya seperti hutan bakau dan padang rumput (Gambar 5). Hutan lahan kering juga memiliki penurunan muka tanah yang sedikit lebih tinggi dengan daerah sekitarnya yang stabil, kemungkinan penyebab penurunan tanah yang diamati adalah pembukaan lahan atau tanah longsor, yang mengganggu stabilitas tanah, hutan lahan kering banyak terdapat di sebelah timur kota padang yang merupakan rangkain perbukitan yang terjal.



Gambar 5. Penurunan tanah di berbagai kelas PL

Selanjutnya, tingkat penurunan muka tanah dengan rerata PL rendah terdapat pada dua kelas PL alami yang belum berkembang, yaitu padang rumput dan hutan mangrove dengan rata-rata -1,49 cm sampai -1,94 cm (Gambar 5). Hal ini dapat disebabkan karena padang rumput dan hutan mangrove tidak terpengaruh oleh aktivitas manusia. Dengan demikian, penurunan tanah ini mencerminkan rata-rata penurunan tanah melalui proses alami di kedua kelas. Temuan penelitian menunjukkan tingginya penurunan tanah di wilayah terbagun dapat mungkin berdampak pada lingkungan (seperti meluasnya wilayah genangan banjir). Hasil penelitian ini merupakan kajian awal untuk menilai penurunan tanah di Kota padang, hasil ini perlu diperkuat dengan pengukuran berbasis titik (seperti pengukuran GPS dan pemeriksaan data kedalam air tanah secara temporal). Hasil penelitian ini setidaknya dapat membantu memberikan gambaran fenomena penurunan tanah yang terjadi di wilayah pesisir kota padang. Pengendalian bahaya penurunan tanah adalah tugas yang menantang yang dihadapi pemerintah lokal untuk pembangunan di masa depan apabila tidak teridentifikasi dan terdokumentasi dengan baik, terutama di dataran pantai dan sungai yang berpenduduk padat. Dengan mengidentifikasi penurunan tanah di wilayah studi memberi keuntungan untuk mencegah kerusakan yang lebih tinggi di masa depan, diharapkan juga akan memberikan informasi yang berharga bagi pemerintah lokal, masyarakat, sehingga

pengambil kebijakan dan masyarakat dapat merencanakan ke depan untuk melindungi harta benda dan kehidupan masyarakat.

4. SIMPULAN

Data pengindraan jauh adalah data yang dapat di andalkan untuk memantau penurunan tanah di wilayah perkotaan dengan banyaknya lahan terbangun, namun di beberapa tempat dengan vegetasi yang rapat dapat mempengaruhi hasil akhir penggunaan data Sentinel C band. Studi ini juga menunjukkan bahwa data satelit ESA-Sentinel-1 dapat digunakan sebagai alat yang berharga untuk mengidentifikasi tren spatiotemporal penurunan tanah di wilayah studi. Selain itu, mengukur dan memetakan penurunan tanah yang bervariasi dengan jenis tutupan lahan yang berbeda menjadi pekerjaan yang menantang untuk pendekatan tradisional berdasarkan pengukuran titik berbasis GPS atau perataan topografi. Data satelit Sentinel dan perangkat lunak pemrosesan data disediakan secara gratis oleh ESA. Sementara itu penelitian ini menunjukkan efektifitas dalam mengukur penurunan tanah di wilayah penggunaan lahan terbangun Kota Padang (seperti permukiman, pelabuhan dan bandara) dengan rerata yang tinggi, lebih lanjut juga terjadi penurunan tanah secara alami yang terjadi pada area bervegetasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>.
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., & Wibowo, I. R. R. (2015). On correlation between urban development, land subsidence and flooding phenomena in Jakarta. , 370, 15–20. <https://doi.org/10.5194/piahs-370-15-2015>.
- Achmad, A. R., & Lee, C. W. (2021). Surface Deformation Measurement of the 2020 Mw 6.4 Petrinja, Croatia Earthquake Using Sentinel-1 SAR Data. *Korean Journal of Remote Sensing*, 37(1), 139–151. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2021.37.1.11>.
- Anjasmara, I. M., Yulyta, S. A., & Taufik, M. (2020). Application of time series InSAR (SBAS) method using sentinel-1A data for land subsidence detection in Surabaya city. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 191–197. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.6749>.
- Arslan, İ., Topakçı, M., & Demir, N. (2022). Monitoring Maize Growth and Calculating Plant Heights with Synthetic Aperture Radar (SAR) and Optical Satellite Images. *Agriculture*, 12(6), 800.
- Bagheri-Gavkosh, M., Hosseini, S. M., Ataie-Ashtiani, B., Sohani, Y., Ebrahimian, H., Morovat, F., & Ashrafi, S. (2021). Land subsidence: A global challenge. *Science of The Total Environment*, 778, 146193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146193>.
- Bott, L. M., Schöne, T., Illigner, J., Haghghi, M. H., Gisevius, K., & Braun, B. (2021). Land subsidence in Jakarta and Semarang Bay–The relationship between physical processes, risk perception, and household adaptation. *Ocean & Coastal Management*, 211, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105775>.
- Dang, V. K., Nguyen, T. D., Dao, N. H., Duong, T. L., Dinh, X. V., & Weber, C. (2021). Land subsidence induced by underground coal mining at Quang Ninh, Vietnam: persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar observation using Sentinel-1 data. *International Journal of Remote Sensing*, 49(9), 3563–3582. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1875513>.
- Devaraj, S., Yarrakula, K., Martha, T. R., Murugesan, G. P., Vaka, D. S., Surampudi, S., & Budamala, V. (2022). Time series SAR interferometry approach for landslide identification in mountainous areas of Western Ghats, India. *Journal of Earth System Science*, 131(2), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01876-3>.
- Du, Z., Ge, L., Ng, A. H. M., Zhu, Q., Yang, X., & Li, L. (2018). Correlating the subsidence pattern and land use in Bandung, Indonesia with both Sentinel-1/2 and ALOS-2 satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67, 54–68. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.001>.
- Fajrin, F., Almegi, A., Bakari, A., Ramadhan, R., & Antomi, Y. (2021). Environmental Monitoring of Land Subsidence in The Coastal Area of Padang City Using Sentinel 1 SAR Dataset. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 5(1), 30–34. <https://doi.org/10.24036/sjdgge.v5i1.359>.
- Fárová, K., Jelének, J., Kopačková-Strnadová, V., & Kycl, P. (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*, 11(22), 2670. <https://doi.org/10.3390/rs11222670>.
- Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>.
- Goldstein, R. M., & Werner, C. L. (1998). Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical Research Letters*, 25(21), 4035–4038. <https://doi.org/10.1029/1998GL900033>.
- Hakim, W. L., Achmad, A. R., & Lee, C. W. (2020). Land subsidence susceptibility mapping in Jakarta using functional and meta-ensemble machine learning algorithm based on time-series InSAR data. *Remote Sensing*, 12(12), 3627. <https://doi.org/10.3390/rs12213627>.
- Herrera-García, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., López-Vinielles, J., Rossi, M., & Ye, S. (2021). Mapping the global threat of land subsidence. *Science*, 371(6524), 34–36. <https://doi.org/10.1126/science.abb8549>.
- Hussain, M. A., Chen, Z., Shoaib, M., Shah, S. U., Khan, J., & Ying, Z. (2022). Sentinel-1A for monitoring land subsidence of coastal city of Pakistan using Persistent Scatterers In-SAR technique. *Scientific Reports*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09359-7>.
- Ishwar, S. G., & Kumar, D. (2017). Application of DInSAR in mine surface subsidence monitoring and prediction. *Current Science*, 46–51. <https://doi.org/10.18520/cs/v112/i01/46-51>.
- 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.
- Lo, W., Purnomo, S. N., Dewanto, B. G., & Sarah, D. (2022). Integration of numerical models and InSAR techniques to assess land subsidence due to excessive groundwater abstraction in the coastal and lowland regions of Semarang city. *Water (Switzerland)*, 14(2), 201. <https://doi.org/10.3390/w14020201>.
- Minderhoud, P. S. J., Coumou, L., Erban, L. E., Middelkoop, H., Stouthamer, E., & Addink, E. A. (2018). The relation between land use and subsidence in the Vietnamese Mekong delta. *Science of The Total Environment*, 634, 715–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.372>.
- Novelli, A., Aguilar, M. A., Nemmaoui, A., Aguilar, F. J., & Tarantino, E. (2016). Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 403–411. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.011>.
- Rahmati, O., Golkarian, A., Biggs, T., Keesstra, S., Mohammadi, F., & Daliakopoulos, I. N. (2019). Land subsidence hazard modeling: Machine learning to identify predictors and the role of human activities. *Journal of Environmental Management*, 236, 466–480. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.020>.
- Raspini, F., Bianchini, S., Moretti, S., Loupasakis, C., Rozos, D., Duro, J., & Garcia, M. (2016). Advanced interpretation of interferometric SAR data to detect, monitor and model ground subsidence: outcomes from the ESA-GMES TerraFirma project. *Natural Hazards*, 83(1), 155–181. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2341-x>.
- Sanabria, M. P., Guardiola-Albert, C., Tomás, R., Herrera, G., Prieto, A., Sánchez, H., & Tessitore, S. (2014). Subsidence activity maps derived from DInSAR data: Orihuela case study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1341–1360. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1341-2014>.
- Shirzaei, M., Freymueller, J., Törnqvist, T. E., Galloway, D. L., Dura, T., & Minderhoud, P. S. (2021). Measuring, modelling and projecting coastal land subsidence. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(1), 40–58. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00134-8>.
- Simmons, B. S., & Wempfen, J. M. (2021). Quantifying relationships between subsidence and longwall face advance using DInSAR. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(1), 91–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.12.021>.
- Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., Pratama, M. B., Valenzuela, V. P. B., & Avelino, J. E. (2021). People's perception of land subsidence, floods, and their connection: A note based on recent surveys in a sinking coastal community in Jakarta. *Ocean & Coastal Management*, 211, 105753. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105753>.
- Umarhadi, D. A., Widyatmanti, W., Kumar, P., Yunus, A. P., Khedher, K. M., Kharrazi, A., & Avtar, R. (2022). Tropical peat subsidence rates are related to decadal LULC changes: Insights from InSAR analysis. *Science of The Total Environment*, 816, 151561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151561>.
- Widodo, J., Naryanto, H. S., Hidayat, N., Putra, A. P., Izumi, Y., Perissin, D., & Sumantyo, J. S. (2021). Land Subsidence Assessment of Bandung City, Indonesia in Geological Perspective, Based on Interferometric SAR Using C-band Data. In *2021 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, 2377–2381. <https://doi.org/10.1109/PIERS53385.2021.9694892>.

- Zaenudin, A., Darmawan, I. G. B., Minardi, S., & Haerudin, N. (2018). Land subsidence analysis in Bandar Lampung City based on InSAR. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1080(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1080/1/012043>.
- Zhang, Y., Liu, Y., Jin, M., Jing, Y., Liu, Y., Liu, Y., & Chen, Y. (2019). Monitoring land subsidence in Wuhan city (China) using the SBAS-InSAR method with radarsat-2 imagery data. *Sensors*, 19(3), 743. <https://doi.org/10.3390/s19030743>.
- Zoysa, S., Schöne, T., Herbeck, J., Illigner, J., Haghighi, M., Simarmata, H., & Hornidge, A. K. (2021). The 'wickedness' of governing land subsidence: Policy perspectives from urban Southeast Asia. *LPOS One*, 16(6), e0250208. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250208>.