

SKRIPSI

PENERAPAN METODE INSAR UNTUK MENDETEKSI SUBSIDENSI PADA LAHAN REKLAMASI PASCATAMBANG BATUBARA DI TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN

APPLICATION OF INSAR METHOD TO DETECT SUBSIDENCE ON COAL POST-MINING RECLAMATION LAND IN TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATRA



Fitri Aulia Tsunami
05101282126048

**PROGRAM STUDI ILMU TANAH
JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

SUMMARY

FITRI AULIA TSUNAMI, Application of the InSAR Method to Detect Subsidence on Coal Post-Mining Reclamation Land in Tanjung Enim, South Sumatra (Supervised by **DWI SETYAWAN**).

Subsidence is one of the environmental problems that occurs slowly, especially in coal post-mining reclamation areas where the soil structure is not yet stable. As a result, the further impact of subsidence emphasizes the importance of a monitoring system that is able to detect changes in land surface periodically and accurately. One method that is currently widely used with the development of remote sensing technology in monitoring subsidence is Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). InSAR is a technique that utilizes the phase difference of radar waves from two or more satellite images taken at different times to detect vertical deformation of the land surface using Sentinel-1 images. Tanjung Enim, especially the reclamation area of ID 4 Year 2016 PT Bukit Asam Tbk, was chosen as the research location because it has undergone revegetation process and has the potential for subsidence. This research was conducted in April-May 2025. This research aims to measure the accuracy of InSAR subsidence values using Sentinel-1 imagery spatially and temporally from 2016-2022. With comparison data in the form of elevation contour data from the company for 2016 and 2022. Determination of validation points was carried out using Purposive Sampling method as many as 20 points based on areas that show indications of subsidence in InSAR processing results. Data analysis was conducted by comparing the results of InSAR image processing to field contour data through regression accuracy tests and Root Mean Square Error (RMSE) calculations. The accuracy test results show that this value is still quite representative for the medium scale and can describe the subsidence that occurs. Thus, the use of Sentinel-1-based InSAR method is proven effective to detect subsidence spatially and temporally in monitoring post-mining reclamation land.

Keywords : InSAR, Post-mining Reclamation, Sentinel-1, Subsidence, Tanjung Enim

RINGKASAN

FITRI AULIA TSUNAMI, Penerapan Metode InSAR untuk Mendeteksi Subsiden pada Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan (Dibimbing oleh **DWI SETYAWAN**).

Subsiden atau penurunan muka tanah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terjadi secara perlahan, terutama di wilayah reklamasi pascatambang batubara yang struktur tanahnya belum stabil. Akibatnya, dampak lanjut dari subsiden menekankan pentingnya sistem pemantauan yang mampu mendeteksi perubahan permukaan tanah secara periodik dan akurat. Salah satu metode yang saat ini banyak digunakan dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh dalam memantau subsiden adalah *Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)*. InSAR merupakan teknik yang memanfaatkan perbedaan fase gelombang radar dari dua atau lebih citra satelit yang diambil pada waktu berbeda untuk mendeteksi deformasi vertikal pada permukaan tanah menggunakan citra Sentinel-1. Tanjung Enim khususnya area reklamasi ID 4 Tahun 2016 PT. Bukit Asam Tbk, dipilih sebagai lokasi penelitian karena telah mengalami proses revegetasi dan berpotensi terjadi subsiden. Penelitian ini dilakukan pada April–Mei 2025. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi nilai subsiden InSAR menggunakan Citra Sentinel-1 secara spasial dan temporal dari tahun 2016-2022. Dengan data pembandingan berupa data kontur elevasi dari perusahaan untuk tahun 2016 dan 2022. Penentuan titik validasi dilakukan dengan metode *Purposive Sampling* sebanyak 20 titik berdasarkan area yang menunjukkan indikasi subsiden pada hasil pengolahan InSAR. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan citra InSAR terhadap data kontur lapangan melalui uji akurasi regresi dan perhitungan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Hasil uji akurasi menunjukkan nilai ini masih tergolong cukup representatif untuk skala menengah dan dapat menggambarkan subsiden yang terjadi. Dengan demikian, penggunaan metode InSAR berbasis Sentinel-1 terbukti efektif untuk mendeteksi subsiden secara spasial dan temporal dalam pemantauan lahan reklamasi pascatambang.

Kata Kunci : InSAR, Reklamasi Pascatambang, Sentinel-1, Subsiden, Tanjung Enim

SKRIPSI

PENERAPAN METODE INSAR UNTUK MENDETEKSI SUBSIDENSI PADA LAHAN REKLAMASI PASCATAMBANG BATUBARA DI TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pertanian Pada
Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya



Fitri Aulia Tsunami
05101282126048

**PROGRAM STUDI ILMU TANAH
JURUSAN TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN METODE INSAR UNTUK MENDETEKSI SUBSIDENSI PADA LAHAN REKLAMASI PASCATAMBANG BATUBARA DI TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN

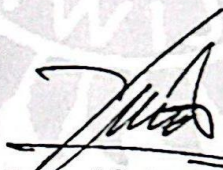
SKRIPSI

Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pertanian Pada Fakultas
Pertanian Universitas Sriwijaya

Oleh:

Fitri Aulia Tsunami
05101282126048

Indralaya, Juli 2025
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Dwi Setyawan, M.Sc.
NIP. 196402261989031004

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. A. Muslim, M. Agr.
NIP. 196412291990011001

Skripsi dengan Judul “Penerapan Metode InSAR untuk Mendeteksi Subsistensi pada Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan” oleh Fitri Aulia Tsunami telah dipertahankan di hadapan Komisi Penguji Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juli 2025 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukan tim penguji.

Komisi Penguji

1. Dr. Ir. Dwi Setyawan, M.Sc.
NIP. 196402261989031004

Ketua



2. Dr. Ir. Agus Hermawan, M.T.
NIP. 196808291993031002

Sekretaris



3. Dr. Ir. Adipati Napoleon, M.P.
NIP. 196204211990031002

Penguji



Indralaya, Juli 2025

Ketua Program Studi Ilmu Tanah



Dr. Ir. Agus Hermawan, M.T.
NIP. 196808291993031002

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fitri Aulia Tsunami

NIM : 05101282126048

Judul : Penerapan Metode InSAR untuk Mendeteksi Subsistensi pada Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

Menyatakan bahwa semua data dan informasi yang dimuat di dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri di bawah supervisi pembimbing, kecuali yang disebutkan dengan jelas sumbernya. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.



RIWAYAT HIDUP

Penulis skripsi ini Bernama lengkap Fitri Aulia Tsunami, merupakan anak keempat dari 4 bersaudara dan terlahir dari pasangan Bapak Gunawan (alm.) dan Ibu Dahniar yang lahir di Lubuklinggau pada tanggal 6 Desember 2003. Penulis berkewarganegaraan Indonesia dan beragama Islam. Adapun riwayat pendidikan penulis yaitu pada tahun 2015 lulus dari SD Negeri 4 Kota Lubuklinggau. Kemudian melanjutkan studi ke jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 4 Kota Lubuklinggau lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2021 penulis lulus dari Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Unggulan Kota Lubuklinggau.

Pada bulan Agustus 2021 penulis sah menjadi mahasiswa di Program Studi Ilmu Tanah (S1) Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa di Universitas Sriwijaya, penulis juga pernah aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HIMILTA) dan organisasi kedaerahan Ikatan Keluarga Mahasiswa Silampari (IKMS). Selain menjadi anggota di himpunan sebagai organisasi yang wajib di dalam program studi, penulis pernah aktif menjadi Badan Pengurus Harian di HIMILTA di departemen Pusat Pengembangan Sumberdaya Manusia (PPSDM) sebagai Sekretaris departemen dan di IKMS di departemen Sosial Masyarakat dan Lingkungan (Sosmasling) juga sebagai Sekretaris departemen. Penulis juga pernah lulus dalam Program Kampus Merdeka yakni Pertukaran Mahasiswa Merdeka *Batch* 3 ke Universitas Padjadjaran program studi Agroteknologi selama 1 semester (4 bulan) pada semester 5.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis persembahkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan tepat waktu. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tulus dan ikhlas kepada:

1. Sang Maha Pencipta Allah SWT. yang selalu memberikan rahmat, berkah, petunjuk, kemudahan, serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
2. Yang terutama kepada alm. Papa Gunawan, yang telah mendahului penulis sejak 2012 saat duduk di bangku kelas 4 SD, sudah tidak terhitung banyaknya hal menyakitkan yang di lalui tanpa sosok papa, babak belur dihajar kenyataan yang sering tidak sejalan. Berusaha bertahan dengan sekuat tenaga, dan semampu saya untuk sampai di tahap ini tanpa ditemani papa. Rasa iri dan rindu yang sering kali membuat saya terjatuh tertampar realita. Namun, hal tersebut tidak mengurangi sedikitpun rasa bangga dan terimakasih atas kehidupan yang telah papa berikan kepada saya dan telah mengajarkan untuk tetap kuat dan selalu sabar. Jikalau memang ada kehidupan selanjutnya, tolong menjadi papa-ku lagi, dan aku tetap menjadi anakmu.
3. Kepada Mama Dahniar, wanita hebat yang menjadi pintu Surgaku. Terimakasih yang teramat besar sudah menjadi alasan penulis untuk tetap bertahan hidup. Terimakasih sudah menjadi mama terbaik di dunia, yang selalu ada dan selalu mengusahakan apapun. Untuk semua perjuangan dan pengorbanan tulus dalam perjalanan dan pencapaian hidup saya selama ini. Terimakasih untuk semua doa-doa yang telah mama langitkan sehingga penulis bisa mengusahakan perkuliahan ini hingga selesai. Ma, tolong hiduplah lebih lama lagi dan bahagia lagi. Skripsi dan gelar ini ami persembahkan untuk Mama, syurgaku.
4. Seluruh keluarga tercinta, terutama saudara kandung penulis Kak Robert Santopan, menjadi anak laki-laki pertama di keluarga tidaklah mudah,

terimakasih sudah selalu menjadi garda terdepan untuk adikmu ini, Ayuk Putri Kamega (puput) terimakasih karena selalu mengusahakan yang paling terbaik untuk adikmu ini, Kak Ahmed Tornado terimakasih selalu antusias atas segala pencapaian adikmu ini, 8 keponakan tercinta penulis Muhammad Rizky, Abi Nur Rahman, Aliyah Syuhada, Zahra Amira Rahmani, Muhammad Sergio, Ghea Putri Anindhita, Hana Kayla Maira, dan Nadeem Fayez Arhab yang telah menjadi motivasi penulis untuk menjadi *rich aunty*. Serta Ayuk Juairiah, Kak Moh. Heris, dan Ayuk Eka yang ikut senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga sampai tahap ini.

5. Bapak Dr. Ir. Agus Hermawan, M.T selaku Ketua Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Yang telah memberikan banyak kesempatan kepada penulis untuk mengikuti rangkaian program mahasiswa di dunia perkuliahan.
6. Bapak Dr. Ir. Dwi Setyawan, M. Sc selaku Dosen Pembimbing skripsi yang sangat dengan penuh kesabaran telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.
7. Bapak Dr. Ir. Adipati Napoleon, M.P. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan koreksi serta arahan, sehingga penulisan skripsi ini dapat menjadi lebih baik lagi.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya yang selalu menyalurkan seluruh ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh masa perkuliahan.
9. Bapak Rio Aldo selaku Pembimbing Lapangan (PIC) yang telah banyak berkontribusi dan memfasilitasi dalam pelaksanaan magang dan pengerjaan tugas akhir di PT. Bukit Asam Tbk.
10. Kepada mereka yang sudah menjadi sahabat pertama dan bertahan hingga akhir di dunia perkuliahan yaitu “Semangat Berjuang”, terkhususnya Acol lalu Mami Ratih, Silpana, Cece, Chikuy, Selepi, Nabilanyet, dan Bang Gaston yang selalu merayakan, mengusahakan, dan memberikan dukungan kepada penulis. Terimakasih sudah mematahkan *statement* pertemanan kuliah hanya bertahan di semester awal. *on my silent day, i wish we're always together forever, and just “haha hihi” for any situation!*

11. Kepada Keluarga Pojok Griya, Sesa, Lingga, Rani, Ansok, Dela, Adi, Ancha, Eldo, Randa sudah menjadi rumah yang selalu ada, terus merayakan dan antusias, tetap saling menjaga dan kebersamaan penulis dari awal hingga penghujung perkuliahan. Kepada Bang Ebin, Bang Giade, Kak Diaz, dan Kak Tiak yang selalu menjadi motivasi penulis, dan tak hentinya mendorong dan memberikan dukungan serta arahan kepada penulis untuk tetap bertahan dan menyelesaikan skripsi ini.
12. Kepada Keluarga Satu Bimbingan, Rintan Lele, Raja Nyonyo, Zaky Gembul, Abol Kuyus, dan Zahid Toddler. Terimakasih untuk semua cerita suka dan duka yang telah diukir indah dalam pengerjaan skripsi ini. Terimakasih untuk semua masukan dan arahan yang memotivasi. Terimakasih untuk tetap bertahan walaupun sangat banyak *challenge* untuk tetap bersama dalam menyelesaikan visi misi mahasiswa untuk menjadi sarjana S.P ini.
13. Kepada Anastasia Wiranti Bellani, terimakasih sudah menjadi figur kakak perempuan pertama untuk anak perempuan terakhir ini di dunia rantauan, yang selalu mengapresiasi, menunjukkan rasa antusias, selalu ada dengan selalu menanyakan kabar setiap harinya dan memberikan dukungan kepada penulis.
14. Jopi dan Kael, keluarga jauh-ku yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini, yang selalu merayakan setiap hal kecil penulis, menemani disaat susah maupun senang, dan menjelajahi pulau Jawa bersama selama mengikuti Program Pertukaran Mahasiswa Merdeka di UNPAD.
15. Melani, Efen, Saparudin, Fenuel, Tesha, Clara yang sudah mengukir memori baik selama PMM di UNPAD, selalu menanyakan kabar, dan memberikan dukungan dan doa dari jauh untuk penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
16. Sahabat kecilku Angel yang sudah seperti saudara kandung penulis, serta Sahabat sejak duduk di bangku SMA Ayin, dan Dera. Yang dimana mereka selalu merayakan mulai dari hal-hal kecil dan selalu menjadi pendengar yang baik untuk penulis. Terimakasih untuk tetap menjadi sahabatku
17. Keluarga Tamyiz-ku Wahyu, Natanael, dan Hermawan serta Kun dan Sela yang selalu menemani, membantu dan menghibur penulis dengan canda tawanya saat di penghujung perkuliahan ini. serta Rekan Ilmu Tanah 2021 yang

secara tidak langsung ikut membantu dalam semua kegiatan perkuliahan.

18. Keluarga satu perasuhan di perkuliahan, Kak Nessa, Rafif, Anisda, Marchelly, Attahira, Rizky, Teddy, Putri, Tasya, dan Farrel. Terimakasih yang sebesar-besarnya karena telah menjadi salah satu bagian penting yang senantiasa mengiringi setiap langkah dalam menyelesaikan masa studi ini dan untuk semua antusias, dukungan, serta doa di setiap momen penulis.
19. Sahabat Magang Wanti, Yurijs, Pipian, Wanda, Dadang, Adnan, Rama, dan Alden serta Ibu Wati, Bang Bernando, Om Ripin, Mas Rafi, Bang Dyo, Said, Kak Sandi, segenap keluarga besar Satuan Kerja *Forestry Management And Watershed Rehabilitation* (PHRDAS) PT Bukit Asam Tbk. dan yang selalu menghibur, menasehati, memberikan dukungan serta doa, dan menjadi *rumah* selama pelaksanaan magang dan penelitian penulis.
20. *Last but not least*. Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada satu sosok perempuan sederhana yang memiliki impian besar dan penuh ambisi, namun terkadang sulit untuk mengerti isi kepalanya sendiri. Benar, perempuan tersebut adalah diri saya sendiri. Terimakasih karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk menyerah dimanapun dan sesulit apapun prosesnya, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. Berbahagialah dan rayakan kehadiranmu sebagai berkah dimanapun kamu menjejakkan kaki. Jangan menyia-nyiakan usaha dan doa yang selalu kamu langitkan. *I wanna thank me for just being me at all times*.

Indralaya, Juli 2025

Fitri Aulia Tsunami

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara.....	4
2.2 Penurunan Permukaan Tanah (Subsidensi)	5
2.3 Faktor-Faktor Terjadinya Penurunan Permukaan Tanah.....	5
2.4 Dampak Terjadinya Penurunan Permukaan Tanah	8
2.5 Sistem Penginderaan Jauh (<i>Remote Sensing</i>).....	8
2.6 Teknologi <i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i> (InSAR)...	10
BAB 3 PELAKSANAAN PENELITIAN.....	13
3.1 Tempat dan Waktu.....	13
3.2 Bahan dan Metode.....	15
3.2.1 Alat dan Bahan	15
3.2.2 Metode Penelitian.....	15
3.3 Analisis Data	27
3.3.1 Uji Regresi	28
3.3.2 Uji <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil Pengolahan InSAR 2016 – 2022	30
4.2 Visualisasi Peta Subsidensi 2016 – 2022	32
4.3 Interpretasi Nilai Subsidensi Hasil InSAR dan Data Lapangan..	36

4.4	Uji Akurasi	40
4.4.1	Uji Regresi	40
4.4.2	Uji <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Penyebab Penurunan Permukaan Tanah.....	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Penginderaan Jauh (Lillesand <i>et al.</i> , 2015).....	9
Gambar 2.3 Geometri InSAR (Pepe & Calò, 2017).....	13
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian PT. Bukit Asam Tbk.	14
Gambar 3.2 Rancangan Alur Kerja	16
Gambar 3.3 Persiapan <i>Software</i> Pengolahan Data (SNAP dan ArcGIS) ..	17
Gambar 3.4 Pengambilan Data Citra di ASF <i>Data Search Vertex</i>	18
Gambar 3.5 Peta Visualisasi Data Kontur Tersedia	19
Gambar 3.6 Diagram Pengolahan Citra Sentinel-1 Dengan SNAP	22
Gambar 3.7 Tahap Pengolahan Data Citra dengan <i>Software</i> SNAP	24
Gambar 3.8 Visualisasi <i>Displacement Map</i> Menggunakan ArcGIS	25
Gambar 3.9 Peta Titik <i>Sampling</i>	27
Gambar 4.1 Peta <i>Displacement</i> Pengolahan InSAR 2016 – 2022.....	31
Gambar 4.2 Peta Subsistensi 2016-2017	33
Gambar 4.3 Peta Subsistensi 2018 – 2019.....	34
Gambar 4.4 Peta Subsistensi 2019 – 2020.....	35
Gambar 4.5 Peta Subsistensi 2021-2022	36
Gambar 4.6 Selisih Subsistensi Nilai InSAR Tahun 2016 – 2025.....	38
Gambar 4.7 Grafik Data Lapangan	40
Gambar 4.8 Hasil Uji Regresi	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Akuisisi Data Citra Sentinel-1	18
Tabel 3.2 Titik-Titik Koordinat Lapangan	26
Tabel 4.1 Klasifikasi Kelas Subsideni.....	32
Tabel 4.2 Nilai Subsideni pada Pengolahan InSAR 2016-2022	37
Tabel 4.3 Nilai Perbandingan Elevasi pada Data Kontur Tersedia	39
Tabel 4.4 Hasil Uji RMSE Nilai Subsideni InSAR dan Lapangan	42

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Kegiatan Penelitian di Lapangan.....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Subsideni menggambarkan fenomena menurunnya permukaan tanah secara vertikal terhadap titik acuan yang dianggap tetap atau stabil secara geospasial (Amelia *et al.*, 2023). Penurunan permukaan tanah atau subsidensi terjadi ketika tanah kehilangan daya dukungnya dan mengalami pergerakan vertikal ke bawah, yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik alami maupun antropogenik (Azeriansyah and Harintaka, 2019). Faktor alami seperti kompaksi sedimen, aktivitas tektonik, dan struktur geologi berperan penting, dan aktivitas manusia seperti ekstraksi air tanah berlebihan dan penambangan bawah tanah merupakan kontributor utama. Dampak dari subsidensi tidak hanya mempengaruhi morfologi lahan, tetapi juga menimbulkan risiko serius terhadap infrastruktur, sistem drainase, lingkungan hidup, hingga keselamatan masyarakat (Nduji *et al.*, 2024).

Di Indonesia, salah satu wilayah yang menunjukkan indikasi permasalahan tersebut adalah Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Wilayah ini menjadi pusat kegiatan penambangan batubara oleh PT. Bukit Asam Tbk., yang menerapkan metode tambang terbuka (*open pit mining*). Eksploitasi batubara secara intensif dan berkelanjutan di area ini telah menimbulkan gangguan terhadap kestabilan tanah (Sari *et al.*, 2023). Setelah tambang selesai beroperasi, lahan yang telah ditambang direklamasi, namun kestabilan tanah di area tersebut belum sepenuhnya terjamin. Struktur bawah permukaan yang telah berubah, rongga-rongga yang tertinggal, serta tekanan mekanik dari aktivitas sebelumnya menyebabkan tanah menjadi lebih rentan terhadap pergeseran atau subsidensi di masa depan.

Lahan reklamasi pascatambang sendiri merupakan area bekas tambang yang telah melalui proses rehabilitasi untuk mengembalikan fungsi ekologis, sosial, dan ekonominya (Handayani *et al.*, 2019). Meskipun bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat tambang, struktur tanah di lahan reklamasi umumnya masih belum stabil sepenuhnya karena perubahan fisik bawah permukaan dan potensi rongga dari aktivitas tambang sebelumnya (Ma *et al.*, 2023). Akibatnya, dampak lanjut dari subsidensi menekankan pentingnya sistem pemantauan yang

mampu mendeteksi perubahan permukaan tanah secara periodik dan akurat, terutama di area reklamasi pascatambang yang memiliki tingkat kerentanan cukup tinggi (Prasetyo and Subiyanto, 2014). Metode yang umum yang biasanya digunakan untuk memantau penurunan permukaan tanah selain InSAR, diantaranya *levelling* dan *Global Position System* (GPS) (Zaenudin *et al.*, 2017).

Salah satu metode yang saat ini banyak digunakan dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh dan terbukti efektif dalam memantau subsidensi adalah *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Yuwono *et al.*, 2018). InSAR adalah metode pengamatan deformasi permukaan tanah secara vertikal dengan membandingkan perbedaan fase sinyal radar dari dua atau lebih citra satelit yang diambil dalam rentang waktu tertentu (Sunu *et al.*, 2019). Penggunaan Citra Sentinel-1 semakin memperluas penggunaan metode InSAR. Citra Sentinel-1 memiliki format SLC (*Single Look Complex*) yang sangat cocok untuk analisis interferometrik karena menyimpan informasi fase gelombang.

Teknologi ini memiliki keunggulan dibandingkan metode konvensional seperti survei geodetik atau GPS karena mampu mencakup wilayah luas, memiliki resolusi spasial tinggi, dan mampu mendeteksi pergeseran dalam skala milimeter. Selain itu, *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) tidak memerlukan keberadaan alat di lapangan sehingga lebih efisien dari segi biaya dan sumber daya manusia (Teixeira *et al.*, 2024). Di samping keunggulannya, hasil dari metode InSAR perlu divalidasi dengan data pengukuran langsung seperti GPS atau data leveling, terutama untuk menjamin keakuratan hasil deteksi subsidensi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga akan dilakukan evaluasi akurasi dari hasil InSAR dengan membandingkannya terhadap data referensi yang tersedia. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa metode yang digunakan benar-benar dapat menggambarkan kondisi aktual di lapangan.

Berdasarkan latar belakang dan sumber informasi yang telah dikaji, penelitian ini akan dilakukan secara langsung untuk memantau subsidensi di wilayah pascatambang batubara milik PT. Bukit Asam Tbk. Pemantauan dilakukan dengan pendekatan penginderaan jauh menggunakan metode InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) berbasis citra Sentinel-1 secara runtun waktu (*time-series*).

1.2 Rumusan Masalah

Pemantauan subsidensi pada area reklamasi pascatambang sangat penting untuk mencegah dampak negatif seperti kerusakan ekosistem dan penurunan fungsi lahan secara berkelanjutan. Sebelum kemajuan teknologi radar, pengamatan lapangan, GPS, dan survei geodetik adalah metode yang umum digunakan. Saat ini, metode Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) dengan penggunaan citra Sentinel-1 dianggap lebih efektif karena cakupannya yang luas dan tingkat akurasi yang tinggi. Meskipun demikian, pengujian akurasi tetap diperlukan untuk memastikan keandalannya. Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana tingkat akurasi pemantauan subsidensi dengan metode InSAR secara time-series menggunakan citra Sentinel-1 di lahan reklamasi pascatambang batubara PT. Bukit Asam Tbk.?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi dalam pemantauan subsidensi pada lahan reklamasi pascatambang batubara PT. Bukit Asam Tbk., dengan menggunakan InSAR *time-series* berbasis citra Sentinel-1 untuk memprediksi potensi terjadinya gejala subsidensi di masa mendatang.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dengan menyediakan informasi berupa data serta peta subsidensi yang terjadi selama beberapa tahun terakhir di Lahan Reklamasi Pascatambang PT. Bukit Asam Tbk. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi inventarisasi penting bagi Universitas Sriwijaya dan bermanfaat sebagai bahan riset dan studi lanjutan. Selain itu, pihak perusahaan dapat memanfaatkan hasil ini sebagai acuan untuk fokus dalam mitigasi risiko subsidensi serta dalam perencanaan operasional tambang di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Hiraga, Y., & Kazama, S. 2024. Land Subsidence in Bangkok Vicinity: Causes and Long-Term Trend Analysis Using InSAR and Machine Learning. *Science of the Total Environment*, 946.
- Akbar, G. N., & Setiawan, B. 2022. Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Jambi dengan Metode *Differential Interferometry Synthetics Aperture Radar* Tahun 2016-2021. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 3(1), 20–29.
- Alesheikh, A. A., Chartsimab, Z., Rezaie, F., Lee, S., Jafari, A., & Panahi, M. 2024. Pemetaan Kerentanan Subsiden Tanah Berdasarkan InSAR dan Pendekatan Pembelajaran Mesin Hibrida. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 27, 255–267.
- Amelia, A., Kurniadin, N., Wumu, R., & Suryalfihra, S. I. 2023. Perbandingan Laju Penurunan Muka Tanah Menggunakan Metode DInSAR dengan Pengolahan Data Aktual. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 2(1), 18–23.
- Antomi, Y., & Fajrin. 2022. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Memperkirakan Penurunan Tanah di Berbagai Tipe Penggunaan Lahan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 11(2), 380–388.
- Archenita, D., Silvianengsih, Hamid, D., Natalia, M., & Misriani, M. 2015. Kajian *Land Subsidence* untuk Perkuatan Tanah (Studi Kasus Sawahlunto). *Rekayasa Sipil*, 12(2), 10–18.
- Aryatama, G. M., Sukmono, A., Hadi, F. 2023. Analisis Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Citra Sentinel-1 Multitemporal (Studi Lokasi: Kecamatan Singojoro, Kabupaten Kendal). *Jurnal Geodesi Undip*, 12, 201–210.
- Azeriansyah, R., & Harintaka. 2019. Penggunaan *Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR (GACOS)* pada Pemantauan Penurunan Muka Tanah di Kota Semarang Metode *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar*. *ELIPSOIDA : Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 2(1), 101–106.
- Bai, Z., Zhao, F., Wang, J., Li, J., Wang, Y., Li, Y., Lin, Y., & Shen, W. 2025. Revealing Long-Term Displacement and Evolution of Open-Pit Coal Mines Using SBAS-InSAR and DS-InSAR. *Remote Sensing*, 17(11), 1–13.
- Bashiir, M. F. 2021. Deteksi Kerusakan Perkotaan Akibat Gempa Bumi di Kota Palu Menggunakan Data Satelit Sentinel-1. *Buletin Poltanesa*, 22(1), 66–69.
- Chaussard, E., Amelung, F., & Aoki, Y. 2013. Characterization of Open and Closed Volcanic Systems in Indonesia and Mexico Using InSAR Time Series. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(8), 3957–3969.
- Chotimah, S. N., Prasetyo, Y., Firdaus, H. S., & Harintaka, H. 2022. Analisis Penurunan Muka Tanah Menggunakan Citra Sentinel 1A dengan Metode

- DinSAR Tahun 2019-2021 (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Semarang Demak). *Elipsoida : Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 5(2), 53–60.
- Gultom, R., Yusuf, M., & Abuamat, H. 2018. Evaluasi Kapasitas Pemompaan dalam Sistem Penyaliran Pada PIT 1 Timur penambangan Banko Barat PT. Bukit Asam (Persero), Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Pertambangan*, 2(1).
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., Hutasoit, L. M., Hakim, D. M., Sarsito, D. A., Andreas, H., & Sidiq, T. P. 2012. Studi Pemantauan Penurunan Muka Tanah di Cekungan Bandung dengan Metode Survei GPS dan InSAR. *Indonesian Journal of Geospatial*, 1(4), 44–53.
- Handayani, D., Setiawan, H., & Nugroho, T. 2019. Analisis Dampak Amblesan pada Lahan Pascatambang Menggunakan Pendekatan Geofisika. *Jurnal Geoteknik*, 17(3), 20–239.
- Hirfan. 2016. Strategi Reklamasi Lahan Pasca Tambang. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 1(1), 101–108.
- Hussain, M. A., Chen, Z., Shoaib, M., Shah, S. U., Khan, J., & Ying, Z. 2022. Sentinel-1A untuk Pemantauan Penurunan Tanah di Kota Pesisir Pakistan Menggunakan Teknik In-SAR dengan Penggunaan *Scatterer Persistent*. *Laporan Ilmiah*, 12(1), 1–18.
- Islam, L. F., Prasetyo, Y., & Sudarsono, B. 2017. Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode DinSAR pada Perangkat Lunak SNAP. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(2), 29–36.
- Kasfari, R., Yuwono, B. D., & Awaluddin, M. 2018. Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 7(1), 120–130.
- Kurniawan, A. R., Surono, W., & Alimano, M. 2014. Potensi Pemanfaatan Limbah Pembakaran Batubara PLTU sebagai Media Tanam dalam Kegiatan Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 10(3), 142–154.
- Lechner, A. M., Baumgartl, T., Matthew, P., & Glenn, V. 2016. Dampak dari Tambang Bawah Tanah Penambangan *Longwall* di Lahan Pertanian Utama : Tinjauan dan Agenda Penelitian. *Land Degradation & Development*, 27, 1650–1663.
- Li, G., Zhao, C., Wang, B., Liu, X., & Chen, H. 2022. Land Subsidence Monitoring and Dynamic Prediction of Reclaimed Islands with Multi-Temporal InSAR Techniques in Xiamen and Zhangzhou Cities, China. *Remote Sensing*, 14(12), 1–19.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J. (2015) *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.
- Ma, F., Sui, L., & Lian, W. 2023. Prediction of Mine Subsidence Based on InSAR Technology and the LSTM Algorithm: A Case Study of the Shigouyi Coalfield, Ningxia (China). *Remote Sensing*, 15(11), 2755.

- Mirelva, P. R. 2015. *Synthetic Aperture Radar – Sebuah Catatan Kecil*.
- Muldiyanto, A., Situmorang, A., & Susilo, E. 2022. Sosialisasi Penyebab dan Dampak Akibat Penurunan Muka Tanah di Kelurahan Tanjung Mas Semarang. *J-Abdi : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(9), 1–8.
- Nduji, N. N., Madu, C. N., & Nwabueze, I. O. 2024. Evaluasi Persepsi Risiko Akibat Penurunan Tanah di Tambang Onyeama, Nigeria Tenggara. *Geomatica*, 76.
- Oktorina, S. 2018. Kebijakan Reklamasi dan Revegetasi Lahan Bekas Tambang (Studi Kasus Tambang Batubara Indonesia). *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(1), 16–20.
- Pepe, A., & Calò, F. 2017. A Review of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) Multi-Track Approaches for the Retrieval of Earth's Surface Displacements. *Applied Sciences (Switzerland)*, 7(12).
- Pradana, I. H., Irawan, L. Y., Setiawan, D., Yuliano, F. S., & Mufid, H. A. 2020. Analisis Daerah Tergenang Banjir di Desa Sitiarjo, Kabupaten Malang Menggunakan Data SAR (*Synthetic Aperture Radar*) Sentinel-1. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 5(1), 58.
- Prasetyo, Y., & Subiyanto, S. 2014. Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Metode *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) di Kawasan Kota Cimahi. *Jurnal Teknik*, 5(2), 78–85.
- Prayudi, S. D., Safi'i, H., & Najib. 2019. Pengaplikasian Metode Penginderaan Jauh dan Pendekatan Geologi Sederhana dalam Kajian Masalah Penurunan Tanah di Wilayah Pesisir Semarang dan Demak: Studi Komparasi antara Asumsi Umum dan Alternatif BT. *Prosiding TAU SNAR-TEK 2019 Seminar Nasional Rekay.* 160–165.
- Purwati, W., Prasetyo, Y., & Darmo, B. 2018. Analisis Dampak Perubahan Muka Tanah Akibat Bencana Tanah Longsor terhadap Kawasan Permukiman di Kabupaten Banjarnegara Menggunakan Metode DinSAR. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 7(4), 254–263.
- Riyandari, R. 2019. Studi Penurunan Muka Tanah Di Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 14(2), 89–93.
- Rizandi, M. A., Isjudarto, A., & Sumarjono, E. 2022. Getaran Tanah (*ground vibration*) Akibat Kegiatan Peledakan di PIT TSBC Tambang Air Laya Terhadap Perumahan Karyawan PT. Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim. *ReTII (Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi) XVII*, 501–509.
- Safitri, T. P., Husni, A., & Yovanda, R. 2024. Evaluasi Reklamasi Lahan Bekas Tambang Batubara di Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. Tanjung Enim Sumatera Selatan. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 4(4), 17–23.
- Samieie-Esfahany, S., Eineder, M., & Hinz, S. 2009. Accuracy Assessment of the DEM Generated by the Differential SAR Interferometry Using High-Resolution Terrasar-X Data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote*

- Sensing*, 64(5), 490–500.
- Sari, A. S., Cahyono, Y. G., & Sa'adah, Z. 2023. Kajian Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar *Dump Truck* Kama 6520 pada Aktivitas Pengangkutan Batubara PIT 2 Banko Barat dari *Fleet A1* Menuju *Dump Hopper 4 PT*. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan*, 1(2), 553–563.
- Shi, Y., Wang, Y., & Zhang, L. 2020. On Time-Series InSAR by SA–SVR Algorithm: Prediction and Analysis of Mining Subsidence. *Journal of Sensors*, 1–9.
- Sial, M. 2021. A Brief Introduction to Regression Analysis and its Types. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 13(4), 58–63.
- Solano-Rojas, D. 2020. Mapping Differential Subsidence Using InSAR Multiscale Approaches. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 173–178.
- 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(39), 17–26.
- Taufik, M., Anjasmara, I. M., & Ulin, R. F. 2019. Analisis Penurunan Muka Tanah di Kabupaten Gresik Tahun 2015 Hingga 2017 dengan Metode PS-InSAR. *Geoid*, 15(1), 6–11.
- Teixeira, A. C., Bakon, M., Perissin, D., & Sousa, J. J. 2024. Analisis InSAR pada Target yang Sebagian Terkohesif dalam Deformasi Penurunan Tanah: Studi Kasus Maceio. *Remote Sensing*, 16, 1–17.
- Wikipedia (2024) 'Subsiden tanah'. Wikipedia bahasa Indonesia. Diakses pada 18 Juli 2025
- Yin, X., Chai, J., Deng, W., Yang, Z., Tian, G., & Gao, C. 2023. Pointwise Modelling and Prediction for Ground Surface Uplifts in Abandoned Coal Mines from InSAR Observations. *Remote Sensing*, 15(9), 1–18.
- Younas, A., Parveen, A., & Rana, M. S. 2022. Understanding and Interpreting Regression Analysis : Purposes in Research Design. *Evidence - Based Nursing; London*. 24(4), 116-118.
- Yu, Z. G., Huang, G. M., & Zhang, C. X. 2020. Monitoring and Characterization of Surface Deformation After the Closure of Coal Mines Based on Small Baseline Interferometric Synthetic Aperture Radar. *Instrumentation Measure Métrologie*, 19(2), 141–150.
- Yuwono, B. D., Prasetyo, Y., & Islama, L. F. 2018. Penelitian Potensi Penurunan Tanah Menggunakan GNSS CORS UDIP dan DinSAR, Sayung, Demak, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 123, 1–10.
- Zaenudin, A., Armijon, & Minardi, S. 2017. Pendugaan Penurunan Tanah di Bandar Lampung dengan Metode InSAR dan Gayaberat Mikro (Hasil Studi Awal) BT. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada*

Masyarakat : AVoER 9. 277–280.

- Zaenudin, A., Darmawan, I. G. B., Armijon, Minardi, S., & Haerudin, N. 2017. Pendugaan Penurunan Tanah di Bandar Lampung dengan Metode InSAR dan Gayaberat Mikro. *AVoER9 Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 277–280
- Zalite, K., & Voormansik, K. 2016. *Differential and Persistent Scatterer SAR Interferometry*. Tartu Observatory, Space Research Center.
- Zejdlik, J., & Vozenilek, V. 2025. Exploring Cartographic Differences in Web Map Applications: Evaluating Design, Scale, and Usability. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(1).
- Zhou, C., Gong, H., Chen, B., Li, J., Gao, M., Zhu, F., Chen, W., & Liang, Y. (2017). InSAR Time-Series Analysis of Land Subsidence Under Different Land Use Types in the Eastern Beijing Plain, China. *Remote Sensing*, 9(4), 380.
- Zhou, C., Tang, Q., Zhao, Y., Warner, T. A., Liu, H., & Clague, J. J. 2024. Reduction of Subsidence and Large-Scale Rebound in the Beijing Plain After Anthropogenic Water Transfer and Ecological Recharge of Groundwater: Evidence from Long Time-Series Satellites InSAR. *Remote Sensing*, 16(9)
- Zhou, L., Guo, J., Hu, J., Li, J., Xu, Y., Pan, Y., & Shi, M. 2017. Analisis Penurunan Permukaan di Wuhan pada Tahun 2015–2016 Berbasis Data Sentinel-1A Menggunakan SBAS-InSAR. *Remote Sens*, 9.