

**KAJIAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH PADA JALUR SESAR
PANJANG – LAMPUNG DENGAN METODE DINSAR MENGGUNAKAN
DATA SENTINEL-1**

(Skripsi)

Oleh

**BAGUS WICAKSONO
NPM 1915013029**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**KAJIAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH PADA JALUR SESAR
PANJANG – LAMPUNG DENGAN METODE DINSAR MENGGUNAKAN
DATA SENTINEL-1**

Oleh

BAGUS WICAKSONO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Pada
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

KAJIAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH PADA JALUR SESAR PANJANG – LAMPUNG DENGAN METODE DINSAR MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-1

Oleh

BAGUS WICAKSONO

Penurunan permukaan tanah merupakan salah satu bentuk deformasi yang berpotensi menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan infrastruktur, khususnya pada wilayah yang dipengaruhi oleh struktur geologi aktif seperti sesar. Salah satu wilayah yang memiliki potensi deformasi tersebut adalah jalur Sesar Panjang. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan deformasi permukaan tanah serta menganalisis besaran dan laju deformasi di sepanjang jalur Sesar Panjang selama periode 2020-2024 menggunakan metode DInSAR.

Data yang digunakan berupa citra Sentinel-1 tahun 2020-2024 yang diolah menggunakan metode DInSAR dengan perangkat lunak SNAP. Tahapan pengolahan meliputi *input slave* januari 2020 sebagai *base* dan *master* desember pada tiap tahunnya, koreksi orbit, pembentukan *interferogram*, koreksi topografi, *unwrapping*, serta konversi satuan *fase* menjadi nilai deformasi permukaan tanah. Hasil pengolahan selanjutnya dianalisis secara spasial melalui peta deformasi permukaan tanah dan melalui perhitungan besaran dan laju deformasi tahunan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi permukaan tanah di Sesar Panjang selama periode 2020-2024 bersifat fluktuatif. Penurunan permukaan tanah (*subsidence*) terbesar pada tahun 2020 dengan besaran -0,1400 m, sedangkan kenaikan permukaan tanah (*uplift*) terbesar pada tahun 2024 dengan besaran 0,2693 m. Hasil *trendline* pada jalur sesar menunjukkan bahwa pergerakan yang fluktuatif dan tidak berlangsung secara linier. Sementara, analisis laju memperlihatkan adanya pergantian arah pergerakan, tahun 2021 dan 2023 mengalami *subsidence* dan tahun 2022 dan 2024 mengalami *uplift*, yang menunjukkan bahwa deformasi permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang tidak bersifat linier.

Kata Kunci: DInSAR, Penurunan Permukaan Tanah, Sesar Panjang.

ABSTRACT

STUDY OF LAND SUBSIDENCE ALONG THE PANJANG FAULT ZONE, LAMPUNG USING THE DINSAR METHOD WITH SENTINEL-1 DATA

By

BAGUS WICAKSONO

Land subsidence is a form of deformation that potentially causes impacts on the environment and infrastructure, particularly in areas influenced by active geological structures such as faults. One of the regions with such deformation potential is the Sesar Panjang fault zone. This study aims to map land surface deformation and analyze the magnitude and rate of deformation along the Sesar Panjang fault zone during the 2020-2024 period using the Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method. The data used consists of Sentinel-1 imagery from 2020-2024, processed using the DInSAR method with SNAP software. The processing stages include orbit correction, interferogram formation, topographic correction, unwrapping, and conversion of phase units into land surface deformation values. The processing results are subsequently analyzed spatially through land surface deformation maps and through calculations of the magnitude and annual deformation rate. The research results indicate that land surface deformation at Sesar Panjang during the 2020-2024 period is fluctuating in nature. The greatest land subsidence occurred in 2020 with a magnitude of -0.1400 m, while the greatest land uplift occurred in 2024 with a magnitude of 0.2693 m. The trendline results along the fault zone show fluctuating and non-uniform movement between segments. Meanwhile, the rate analysis reveals alternating directions of movement, with subsidence occurring in 2021 and 2023, and uplift occurring in 2022 and 2024, indicating that land surface deformation along the Sesar Panjang fault zone is non-linear in nature.

Keywords: DInSAR, Land Subsidence, Panjang Fault

HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **KAJIAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH
PADA JALUR SESAR PANJANG – LAMPUNG
DENGAN METODE DINSAR MENGGUNAKAN
DATA SENTINEL-1**

Nama : **Bagus Wicaksonoo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915013029**

Program Studi : **S1 Teknik Geodesi**

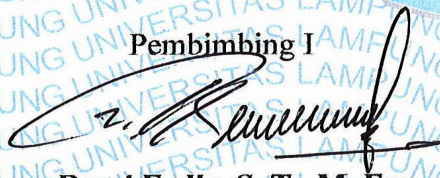
Jurusan : **Teknik Geodesi dan Geomatika**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I



Romi Fadly, S. T., M. Eng.
NIP. 197708242008121001

Pembimbing II



Atika Sari, S.T., M.T.
NIP. 199204062022032007

2. **Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika**



Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP. 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Dosen Pembimbing I

: Romi Fadly, S. T., M. Eng.



Dosen Pembimbing II

: Atika Sari, S.T., M.T.



Dosen Penguji

: Citra Dewi, S.T., M.Eng.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 Febuari 2026



PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bagus Wicaksono
NPM : 1915013029
Program Studi : Teknik Geodesi
Jurusan : Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi berjudul **“Kajian Penurunan Permukaan Tanah Pada Jalur Sesar Panjang – Lampung Dengan Metode DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1”** merupakan hasil penyusunan tugas akhir yang di bimbingan oleh Dosen Pembimbing I Bapak Romi Fadly, S. T., M. Eng. Dan Dosen Pembimbing II Atika Sari, S.T., M.T. Skripsi ini dibuat berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Skripsi ini bersumber dari pemikiran sendiri dengan kata lain bukanlah hasil plagiat orang lain yang didukung oleh referensi ilmiah secara relevan, seperti jurnal, buku, dan sumber terpublikasi lainnya, dengan tetap mematuhi kaidah akademik dan etika penulisan.

Bandar Lampung, April 2026

Yang membuat pernyataan



Bagus Wicaksono

1915013029

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir pada tanggal 04 April 2001 di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Penulis adalah anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Kusmiyanto dan Ibu Rusmini.

Penulis menempuh Pendidikan dasar di SD Negeri 2 Perumnas Way Kandis pada tahun 2007 - 2013. Kemudian penulis melanjutkan Pendidikan menengah pertama di SMP Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2013 - 2016. Selanjutnya, penulis menempuh Pendidikan menengah atas di SMKN 2 Bandar Lampung pada tahun 2016 - 2019. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan studi sebagai mahasiswa di Universitas Lampung pada Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Teknik, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada tahun 2022 bulan Januari - Februari, penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Kemiling Permai, Kecamatan Kemiling, Bandar Lampung, kemudian pada bulan Januari – Februari 2023, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Semen Baturaja Tbk. Penulis masuk pada divisi Mine Surveying dan ikut berkontribusi dalam berbagai aktivitas pengukuran dan progress tambang selama 40 hari.

Penulis melakukan penelitian skripsi di Kota Bandar Lampung yang berjudul “Kajian Penurunan Permukaan Tanah Pada Jalur Sesar Panjang – Lampung Dengan Metode DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1” yang dibimbing Bapak Romi Fadly, S.T., M.Eng. dan Ibu Atika Sari, S.T., M.T.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan skripsi ini dengan baik.

Dengan rasa syukur dan bahagia, saya persembahkan skripsi ini dengan tulus kepada kedua orangtua tercinta saya, yang selalu ada di setiap perjalanan hidup saya, selalu memberikan do'a tiada henti, serta kasih sayang dan kesabaran yang tulus, sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan yang penuh dengan perjuangan ini dengan baik.

Penulis juga menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada NAYuwina dan Ncim yang selalu memberikan canda tawa, dukungan terbaik, serta selalu mendampingi penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Terimakasih dengan tulus untuk Bapak/Ibu Dosen Pembimbing, Penguji, Pengajar, serta seluruh staff akademik yang telah mengajarkan ilmu pengetahuan, wawasan, pandangan berpikir, meluangkan waktu, motivasi kepada penulis serta membimbing banyak hal baik lainnya.

Terimakasih untuk rekan-rekan angkatan 2019 atas dukungan, semangat, serta kebersamaan selama di perkuliahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan

MOTTO

“It will pass.”

(Rachel V)

“Gonna fight and don’t stop, until you are proud.”

(Boy Chandra)

“Kesuksesan dan kebahagiaan terletak pada diri sendiri. Tetaplah berbahagia karena bahagiamu dan kamu yang akan membentuk karakter kuat untuk melawan kesulitan.”

(Helen Keller)

“Suatu hari nanti kamu akan sangat bangga pada dirimu sendiri karena kamu akhirnya melewati masa-masa tersulitmu dan semua kerja kerasmu terbayar. Kamu tidak akan merasa tidak berguna, kesepian, atau tersesat lagi. Kamu akan hidup, dan kamu akan baik-baik saja.”

(Alex)

“Long Story Short I Survived.”

(Taylor)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini dengan judul “*Kajian Penurunan Permukaan Tanah Pada Jalur Sesar Panjang – Lampung Dengan Metode DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1*” ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. H. Ahamad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T, IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Bapak Romi Fadly, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, saran, masukan serta bimbingan kepada penulis
4. Ibu Atika Sari, S.T., M.T. selaku pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta masukan untuk saya.
5. Ibu Citra Dewi, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberi keritik dan saran dalam pengerjaan laporan tugas akhir.
6. Ir. Armijon, S.T., M.T,IPU selaku dosen pembimbing akademik penulis.
7. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Univeritas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pembelajaran selama masa perkuliahan.
8. Orang tua saya yang telah memberikan dukungan moral serta doa yang tiada henti.

9. Teman-teman Teknik Geodesi dan Geomatika Angkatan 2019 Univeritas Lampung yang telah memberikan dukungan seta membantu dalam pembuatan skripsi ini.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam dalam menulis, yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, besar harapan penulis untuk menerima tanggapan, kritik, dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Bandar Lampung, Febuari 2026

Bagus Wicaksono
NPM 1915013029

DAFTAR ISI

Halaman

SANWACANA.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Penurunan Permukaan Tanah	9
2.3 Penginderaan Jauh	10
2.4 Sesar (<i>fault</i>).....	11
2.5 Sesar Panjang Lampung	13
2.6 <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR).....	13
2.7 Sentinel 1	14
2.8 DInSAR (<i>Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>).....	16
2.9 Besaran dan Laju Penurunan Permukaan Tanah	18
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Tahap Persiapan	22
3.1.1 Alat yang Digunakan Dalam Penelitian	22
3.1.2 Data yang Digunakan Dalam Penelitian	23
3.2 Tahap Pengumpulan Data yang Digunakan Dalam Penelitian	25
3.3 Pengolahan Data	25
3.3.1 Data <i>Selection</i> Sentinel-1	26

3.3.2	<i>Coregistration</i>	26
3.3.3	<i>Interferogram Formation</i>	27
3.3.4	<i>Deburst</i>	28
3.3.5	Subset	29
3.3.6	<i>Multilooking</i>	29
3.3.7	<i>Golden Phase Filtering</i>	30
3.3.8	<i>Unwrapping (SNAPHU)</i>	31
3.3.9	<i>Phase to Displacement</i>	32
3.3.10	<i>Terrain Correction</i>	33
3.3.11	<i>Export to Qgis</i>	34
3.3.12	Digitasi Jalur Sesar Panjang	35
3.3.13	Buffer 2 Km pada Jalur Sesar Panjang	35
3.3.14	Clip Citra	36
3.3.15	Pembuatan Titik Sebaran	37
3.3.16	Penggabungan Data Tahun 2020-2024	38
3.3.17	Tahap Analisis	38
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Pola Penurunan	40
4.1.1	Pola Penurunan Permukaan Tahun 2020	40
4.1.2	Pola Penurunan Permukaan tahun 2021	41
4.1.3	Pola Penurunan Permukaan Tahun 2022	42
4.1.4	Pola Penurunan Permukaan Tahun 2023	43
4.1.5	Pola Penurunan Permukaan Tahun 2024	44
4.2	Besaran dan Laju Penurunan Permukaan Tanah	45
4.2.1	Besaran Penurunan Permukaan Tanah	45
4.2.2	Laju Penurunan Permukaan Tanah	54
BAB V.	SIMPULAN DAN SARAN	56
5.1	Simpulan	56
5.2	Saran	57
	DAFTAR PUSTAKA	58
	LAMPIRAN A	59
	LAMPIRAN B	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Terdahulu.....	6
2. Produk Karakteristik Sentinel-1A	15
3. Perangkat lunak dan kegunaannya	23
4. Data dan Sumbernya	24
5. Besaran Penurunan Permukaan Tanah	46
6. Laju Penurunan Permukaan Tanah.....	54
7. Data Koordinat Titik Pengamatan dan Nilai Displacement Tahunan Hasil Digitasi DInSAR (2020–2024)	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Arah Tekanan Tipe Sesar (Haryono, 2022)	12
2. Mode Akuisisi Satelit Sentinel-1.....	15
3. Peta Lokasi Penelitian Sesar Panjang Lampung	20
4. Diagram Alir Penelitian.....	21
5. Tahap Data Selection.....	26
6. Hasil Coregistration	27
7. Hasil Interfrogram.....	28
8. Hasil Deburst.....	28
9. Hasil Subset.....	29
10. hasil Multilooking.....	30
11. Hasil Golden Phase Filtering.....	31
12. Hasil Unwrapping	32
13. Hasil Phase to Displacement.....	33
14. Hasil Terrain Correction.....	34
15. Hasil Digitasi Jalur Sesar Panjang	35
16. Hasil Buffer	36
17. Sebelum Clip (kiri) Sesudah Clip (kanan)	36
18. Hasil Titik Sebaran.....	37
19. Hasil Penggabungan Data	38
20. Peta Penurunan Permukaan Tanah Tahun 2020	40
21. Peta Penurunan Permukaan Tanah Tahun 2021	41

22. Peta Penurunan Permukaan Tahun 2022	42
23. Peta Penurunan Permukaan Tahun 2023	43
24. Peta Penurunan Permukaan Tahun 2024	44
25. Distribusi deformasi Tahun 2020	47
26. Distribusi Deformasi Tahun 2021	48
27. Distribusi Deformasi Tahun 2022	49
28. Distribusi Deformasi Tahun 2023	50
29. Distribusi Deformasi Tahun 2024	51
30. Deformasi Sesar Panjang Tahun 2020-2024	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) adalah fenomena geologi yang terjadi ketika permukaan tanah mengalami penurunan secara vertical (Zulfa, 2022). Penurunan permukaan tanah ini tidak hanya disebabkan oleh faktor geologis alami seperti pergerakan sesar aktif, tetapi juga oleh interaksi aktivitas manusia, seperti pertambangan dan pembangunan infrastruktur. Kondisi ini dapat memicu berbagai masalah lingkungan, seperti peningkatan risiko banjir dan kerusakan infrastruktur (Ulma, 2021). Resiko ini terutama disebabkan oleh kombinasi faktor geologis dan aktivitas manusia, seperti aktivitas sesar dan penggunaan lahan yang intensif (Khoirunisa dkk., 2015). Di Indonesia, berbagai daerah telah terjadi penurunan permukaan tanah, termasuk di Pulau Sumatra. Pulau Sumatra terletak di antara 2 lempengan tektonik yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia oleh karena itu Pulau Sumatra sangat rentan terhadap fenomena ini, terutama di sepanjang jalur sesar aktif (Haerudin dkk., 2019). Salah satu sesar aktif yang menjadi perhatian adalah Sesar Panjang di Lampung karena memiliki potensi penurunan permukaan tanah yang di akibatkan oleh aktivitas sesar.

Sesar Panjang di Provinsi Lampung yang membentang sekitar 30 km dari Tarahan hingga Natar, melalui beberapa kecamatan seperti Panjang, Way Halim, Rajabasa, serta mengarah dari tenggara ke barat daya. Sebagai salah satu sesar yang aktif di Pulau Sumatera, Sesar Panjang mempengaruhi morfologi wilayah yang di lintasinya, yang ditandai oleh banyaknya perbukitan (Muhammad, 2023). Berdasarkan hasil interpretasi

geomorfologi serta observasi lapangan, Sesar Panjang diinterpretasikan sebagai sesar normal yang memiliki arah barat laut-tenggara (Pardamean, 2021). Menurut (Sulandari dkk., 2023) sesar Panjang aktif pada kedalaman dangkal, yaitu pada kedalaman 0,5 km sampai 3 km sehingga dapat memicu gempa lokal yang berdampak langsung pada wilayah sekitarnya. Aktivitas sesar ini juga tercatat melalui kejadian kegempaan, pada 25 Maret 2024, wilayah Bandar Lampung mengalami guncangan gempa berkekuatan M 2,0 yang dikaitkan dengan aktivitas Sesar Panjang segmen Tarahan (Saputra, 2024). Selain itu, aktivitas serupa juga pernah terjadi sebelumnya, yaitu gempa berkekuatan M 3,7 yang mengguncang Lampung Selatan yang dekat dengan sesar Panjang dan getaran terasa hingga Bandar Lampung pada 24 Oktober 2021 (Syahreza, 2019). Kejadian ini menunjukkan bahwa jalur sesar masih aktif dan dapat mempengaruhi deformasi permukaan tanah. Oleh karena itu, kajian mengenai penurunan permukaan tanah di sepanjang sesar ini penting untuk mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan infrastruktur yang aman (Nur dkk., 2020).

Saat ini, banyak berbagai metode untuk memantau penurunan permukaan tanah, baik melalui pengukuran konvensional menggunakan GPS (*Global Positioning System*) dan leveling, hingga teknologi penginderaan jauh radar. Meskipun pengukuran konvensional memberikan hasil yang sangat akurat, metode ini memiliki keterbatasan, seperti kebutuhan sumber daya manusia, ketergantungan pada kondisi cuaca, dan durasi pengamatan yang membutuhkan waktu cukup lama. Sebagai solusi, teknologi SAR (*Synthetic Aperature Radar*) kini banyak digunakan karena mampu menghemat waktu, mencakup area yang sangat luas dan memungkinkan pengamatan secara *time-series*, meskipun tingkat ketelitiannya belum bisa menyamai metode pengukuran langsung di lapangan (Sedy, 2018). Dalam mendeteksi penurunan permukaan tanah menurut (Prasetyo & Sugiastu, 2018), teknologi DInSAR (*Differential Synthetic Aperture Radar*) mampu mendeteksi dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi, mencapai rentang antara sentimeter hingga milimeter. DInSAR memanfaatkan data radar dari satelite Sentinel-1 dalam pengolahan data. Keunggulan utama dari Sentinel-1 adalah kemampuannya untuk melakukan akuisisi data sepanjang hari, baik siang maupun

malam, dalam berbagai kondisi cuaca, serta cakupan sensor Sentinel-1 mencapai 250 km dengan resolusi data yang cukup tinggi, sekitar 10 meter, sehingga sangat cocok untuk pemantauan penurunan permukaan tanah secara detail pada wilayah yang luas (Iwan, 2021).

Pemantauan penurunan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang dilakukan dengan penerapan metode DInSAR dengan memanfaatkan data satelite Sentinel-1. Metode ini lebih cepat serta efisien dalam hal waktu dan biaya, karena mencakup wilayah yang luas dibandingkan dengan metode pengukuran konvensional. Meskipun demikian, DInSAR memiliki keterbatasan seperti adanya dekorelasi temporal akibat adanya perubahan tutupan lahan atau vegetasi, ketergantungan terhadap kualitas interferogram, serta kebutuhan DEM yang akurat untuk koreksi topografi (Azhari dkk., 2020). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memetakan deformasi permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang serta menghitung nilai penurunan dan laju deformasi yang terjadi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang mendukung mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan di wilayah terdampak.

1.2.Rumusan Masalah

Metode pengukuran deformasi permukaan tanah secara langsung seperti pengamatan GNSS dan *levelling* memiliki keterbatasan, terutama pada cakupan wilayah yang luas dan biaya pengukuran yang tinggi. Kondisi ini menjadi kendala ketika dibutuhkan pemantauan perubahan permukaan tanah dalam waktu yang relatif cepat dan mencakup area yang luas seperti di sepanjang jalur Sesar Panjang di Provinsi Lampung. Dengan adanya kemajuan teknologi penginderaan jauh, metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) menjadi alternatif yang efektif untuk memantau penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) secara periodik menggunakan data satelit Sentinel-1.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil peta penurunan permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang di Provinsi Lampung yang diperoleh menggunakan metode DInSAR dengan data Sentinel-1 pada tahun 2020, 2021, 2022, 2023, dan 2024?
2. Berapa besar nilai penurunan dan laju deformasi permukaan tanah yang terdeteksi dari hasil pengolahan metode DInSAR di sepanjang jalur Sesar Panjang pada tahun 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan peta penurunan permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang berdasarkan hasil pengolahan data citra Sentinel-1 dengan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) pada tahun 2020, 2021, 2022, 2023, dan 2024.
2. Mendapatkan nilai besaran penurunan dan laju deformasi permukaan tanah yang terjadi di sepanjang jalur Sesar Panjang pada tahun 2020, 2021, 2022, 2023, dan 2024.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu deformasi permukaan tanah menggunakan teknologi penginderaan jauh DInSAR (*Differential Synthetic Aperture Radar*). Hasilnya dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis yang memanfaatkan data Sentinel-1 pada wilayah tektonik aktif.
2. Penelitian ini menyediakan informasi akurat mengenai besaran dan pola penurunan permukaan tanah di jalur Sesar Panjang Lampung. Data ini dapat

dimanfaatkan oleh pemerintah daerah dan instansi terkait sebagai dasar mitigasi risiko bencana dan perencanaan pembangunan yang lebih aman, serta mendukung pengelolaan lahan agar dampak aktivitas sesar terhadap infrastruktur dan lingkungan dapat diminimalkan.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini mengambil lokasi sepanjang jalur Sesar Panjang-Lampung yang memiliki panjang total 30 km dengan 2 km ke barat dan 2 km ke timur dari jalur Sesar Panjang-Lampung.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Sentinel-1 yang digunakan untuk mendapatkan data penurunan permukaan tanah.
3. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak SNAP untuk mengetahui besaran dan laju penurunan permukaan tanah yang terjadi pada tahun 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024.
4. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*) untuk mengamati penurunan permukaan tanah secara time-series, besaran penurunan menggunakan data Sentinel-1 di sepanjang jalur Sesar Panjang.
5. Hasil yang didapatkan dari pengolahan ini diasumsikan sebagai murni hasil dari aktivitas sesar, tanpa mempertimbangkan pengaruh fenomena lain seperti faktor eksogen yang dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tujuan penelitian terdahulu adalah untuk memperoleh bahan perbandingan dan bahan referensi yang dapat diterapkan dalam penulisan, serta mengacu pada teori dan hasil penelitian terdahulu untuk membantu memecahkan permasalahan yang berkaitan dengan penelitian. Beberapa penelitian yang dijadikan acuan dalam penelitian ini adalah :

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis, Tahun, Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	Muhammad Farel Syuhada 2023 Analisis Baseline CORS CTRA dan CORS ULPC Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2022.	Menggunakan metode pengamatan GNSS CORS secara kontinu lalu dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK 10.7	Penelitian ini mengkaji titik perubahan Panjang baseline CORS ULPC dan CTRA yang diduga akibat melintasi sesar Panjang. Hasil analisis menunjukkan bahwa titik CTRA mengalami pergeseran horizontal sebesar 27,88 mm/tahun ke arah tenggara, sedangkan, titik ULPC mengalami pergeseran sebesar 25,17 mm/tahun ke arah yang sama. Sementara itu panjang baseline ULPC-CTRA pada tahun 2022 tercatat sebesar 7.801,7233

No	Penulis, Tahun, Judul	Metode	Hasil Penelitian
			<p>meter dengan perubahan rata-rata 4,230 mm dan kecepatan 2,95 mm/tahun. secara statistik perubahan ini tidak signifikan. Berdasarkan arah pergerakan dan perubahan baseline, disimpulkan bahwa mekanisme Sesar Panjang adalah sesar dextral.</p>
2	<p>Eko Andik Saputro, Sutomo Kahar, Bandi Sasmito 2012 Deteksi Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Dengan Teknik <i>Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar</i> (DInSAR) Menggunakan Software ROI_PAC</p>	<p>Menggunakan metode DInSAR dengan data ALOS PALSAR (Level 1.0) kemudian dilakukan pengolahan menggunakan software ROI_PAC.</p>	<p>Penelitian ini mengkaji penurunan permukaan tanah di Kota Semarang pada periode 2007-2009. Hasil menunjukkan bahwa penurunan berkisar antara 0,87 hingga 30,50 cm, dengan laju penurunan 0,78-14,13 cm/tahun pada 2007-2008. Wilayah dengan endapan alluvial mengalami penurunan lebih signifikan dibandingkan dengan daerah lain.</p>
3	<p>Risty Khoirunisa, Bambang Darmo</p>	<p>Metode yang digunakan adalah</p>	<p>Penelitian ini menganalisis penurunan permukaan tanah di Kota</p>

No	Penulis, Tahun, Judul	Metode	Hasil Penelitian
	<p>Yuwono dan Arwan Putra Wijaya</p> <p>2015</p> <p>Analisis Penurunan Permukaan Tanah Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.5</p>	<p>pengukuran GPS static yang kemudian diolah secara radial dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT (GPS Analysis of MIT) 10.5</p>	<p>Semarang pada tahun 2013-2015, dengan nilai penurunan 1,66-28,78 cm dan laju 0,83-13,94 cm/tahun. Wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan batuan alluvial mengalami penurunan lebih signifikan. Korelasi antara laju penurunan dan cakupan bangunan sebesar 0,198, sedangkan dengan kepadatan penduduk hanya 0,044.</p>
4	<p>Muhammad Rizki Pradana</p> <p>2020</p> <p>Monitoring Deformasi Gunung Bromo Pada Tahun 2015 dan 2016 Menggunakan Citra Sentinel 1A dan Metode In-SAR (Studi kasus ; Gunung Bromo, Jawa Timur).</p>	<p>Metode yang digunakan adalah InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) dengan memanfaatkan citra Sentinel 1A, sehingga dapat digunakan dalam monitoring deformasi .</p>	<p>Penelitian ini menganalisis deormasi Gunung Bromo pada pada tahun 2015-2016. Penelitian ini memberikan hasil adanya deflasi di dalam kawah 0,2-0,3m dan bagian timur luar kawah $\pm 0,59$ m, serta inflasi di sisi barat hingga selatan luar kawah 0,59-1,3 m dan bagian bawah utara kawah $\pm 0,6$ m. Perubahan ini terkait adanya erupsi Gunung Bromo.</p>

No	Penulis, Tahun, Judul	Metode	Hasil Penelitian
5	Bagus Wicaksono 2026 Kajian Penurunan Permukaan Tanah Pada Jalur Sesar Panjang– Lampung dengan Metode DInsar dan InSAR menggunakan Data Sentinel 1A	Metode yang digunakan adalah DInSAR dengan menggunakan data Citra Setinel-1 dan dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak SNAP	Deformasi permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang periode 2020-2024 bersifat fluktuatif. <i>Subsidence</i> terbesar pada tahun 2020 dengan besaran -0,1400 m, sedangkan <i>uplift</i> terbesar pada tahun 2024 dengan besaran 0,2693 m. Laju deformasi menunjukkan <i>subsidence</i> pada 2021 dan 2023, serta <i>uplift</i> pada 2022 dan 2024, yang menunjukkan pergerakan vertikal tidak linier.

2.2 Penurunan Permukaan Tanah

Penurunan muka tanah atau biasa dikenal dengan istilah *land subsidence* merupakan suatu proses terjadinya penurunan muka tanah berdasarkan suatu datum (kerangka referensi geodesi) tertentu yang didalamnya terdapat berbagai variabel penyebab (Dwina dkk., 2015). Di Indonesia, fenomena ini sering terjadi di daerah perkotaan dan wilayah yang aktif secara tektonik, seperti halnya daerah di Pulau Sumatra yang sangat aktif terhadap aktivitas tektonik. Fenomena penurunan permukaan tanah ini dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti rusaknya struktur bangunan, peningkatan daerah resapan air laut dan peningkatan area banjir (Saputro dkk., 2012).

Penurunan permukaan tanah dapat terjadi secara perlahan maupun tiba-tiba. Dalam beberapa peristiwa di Indonesia, penurunan permukaan tanah dalam per tahun mencapai hingga sentimeter. Perubahan permukaan tanah yang terjadi secara tiba-tiba biasanya disertai dengan perubahan fisik yang jelas dan dapat langsung diukur tingkat

kecepatan serta besarnya penurunan. Namun, untuk penurunan permukaan tanah yang berlangsung secara bertahap, dampaknya baru bisa terlihat setelah waktu yang cukup lama, dan besarnya penurunan dapat diukur melalui pemantauan yang dilakukan secara berkala (Risty, 2015). Menurut (Kurniawan dkk., 2013) penyebab terjadinya penurunan permukaan tanah dapat digolongkan menjadi beberapa, yaitu :

1. Penurunan muka tanah secara alami disebabkan oleh proses geologi seperti aktivitas gunung berapi, aktivitas tektonik, siklus geologi, dan adanya rongga di bawah permukaan bumi.
2. Penurunan permukaan tanah dapat terjadi akibat pengambilan cairan dari dalam bumi, seperti air tanah dan minyak bumi.
3. Penurunan permukaan tanah yang disebabkan oleh beban berat di atasnya, seperti konstruksi bangunan, yang mengakibatkan lapisan tanah di bawah mengalami pemadatan atau konsolidasi. Jenis penurunan ini sering disebut sebagai *settlement*.
4. Penurunan permukaan tanah akibat pengambilan material padat dari dalam bumi, seperti yang terjadi pada kegiatan penambangan.
5. Proses sedimentasi di daerah cekungan (*sedimentary basin*).
6. Munculnya rongga di bawah permukaan tanah yang menyebabkan runtuhnya bagian atas rongga tersebut, sehingga terbentuk lubang di permukaan yang disebut dengan *sinkhole*.

2.3 Penginderaan Jauh

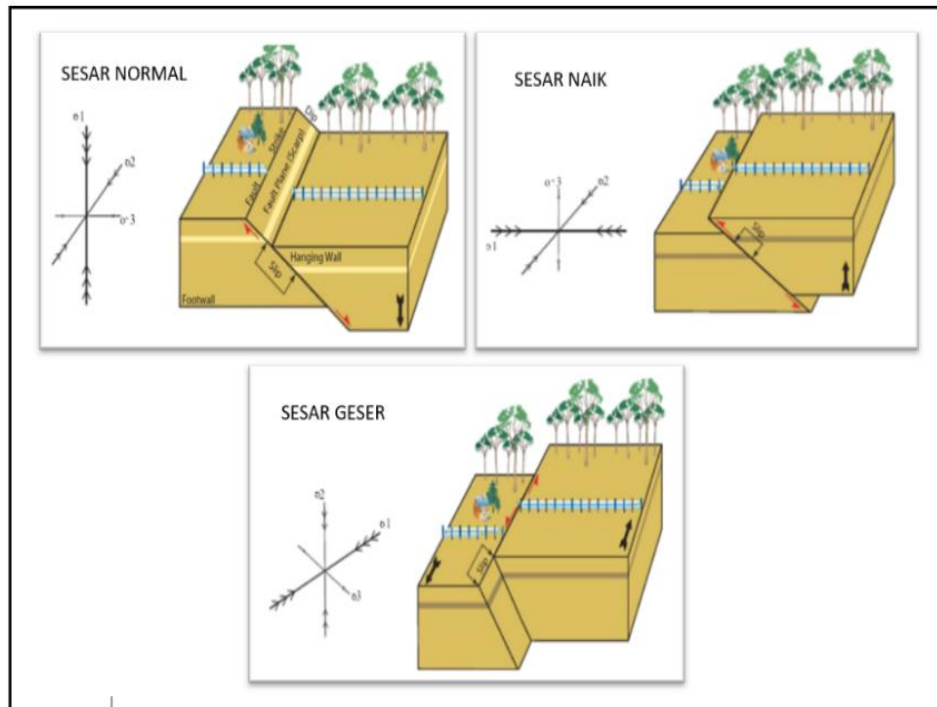
Penginderaan jauh didefinisikan sebagai teknik untuk memperoleh informasi mengenai objek, wilayah, atau fenomena di permukaan bumi tanpa melakukan kontak langsung dengan objek yang diamati, melainkan melalui perekaman dan analisis energi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek tersebut, sehingga memungkinkan pengamatan wilayah yang luas secara efisien dan berulang dalam periode waktu tertentu (Danoedoro, 2007). Dalam kajian kebumihuman, penginderaan jauh berperan penting dalam penyediaan data spasial yang bersifat sinoptik dan multitemporal, sehingga banyak dimanfaatkan untuk analisis dinamika permukaan

bumi, termasuk perubahan tutupan lahan, bencana alam, dan deformasi permukaan tanah (Abidin dkk., 2009). Sistem penginderaan jauh secara umum terdiri atas sumber energi, atmosfer sebagai media transmisi, objek target, sensor, wahana, serta sistem pengolahan dan interpretasi data, yang bekerja secara terpadu untuk menghasilkan informasi tematik yang dapat dianalisis secara. Penginderaan jauh dibedakan menjadi penginderaan jauh pasif dan aktif, di mana penginderaan jauh aktif seperti *Synthetic Aperture Radar* (SAR) menggunakan energi yang dipancarkan sendiri oleh sensor, sehingga mampu melakukan perekaman data tanpa bergantung pada kondisi pencahayaan matahari dan relatif tidak terpengaruh oleh tutupan awan, yang menjadikannya sangat sesuai untuk pemantauan deformasi permukaan tanah di wilayah tropis seperti Indonesia (Sidiq dkk., 2014).

2.4 Sesar (*fault*)

Sesar adalah serangkaian retakan pada batuan yang mengalami pergeseran akibat gaya geologis (Suntoko dkk., 2019). Sesar terbentuk akibat dari pergeseran lapisan bumi dari posisi aslinya (Jayatri dkk., 2023). Sesar terdiri dari sesar aktif dan pasif, sesar aktif adalah sesar yang memiliki aktivitas pergerakan sedangkan sesar pasif adalah sesar yang tidak memiliki aktivitas sama sekali, namun dalam kondisi tertentu sesar pasif dapat kembali aktif apabila terdapat gaya atau getaran di sekitarnya, misalnya terjadi aktivitas gunung berapi dan aktifitas kegempaan disekitarnya (Minardi dkk., 2014).

Secara umum, menurut (Bader dkk., 2020) sesar terdiri dari 3 jenis, yaitu sesar normal atau sesar turun (*normal fault*), sesar naik (*reverse fault*), dan sesar geser (*strike-slip fault*). Berikut ini merupakan contoh gambar dari arah tekanan dari jenis-jenis sesar :



Gambar 1. Arah Tekanan Tipe Sesar (Haryono, 2022)

Pada sesar normal, tekanan maksimal berarah *vertical* sedangkan tekanan minimal berarah horizontal. Sebaliknya, pada sesar naik, tekanan maksimal terjadi secara horizontal sementara tekanan minimal berada di arah *vertical*, sehingga *hanging wall* terdorong ke atas *relative* terhadap *footwall*. Sementara itu, pada sesar geser, tekanan maksimal dan minimal sama sama secara horizontal, sehingga menyebabkan pergerakan *hanging wall* sejajar dengan bidang sesar tanpa perubahan ketinggian (Haryono, 2022). Besarnya pergeseran sesar dapat bervariasi, mulai dari beberapa milimeter hingga sentimeter, tergantung pada kekuatan dan gaya tektonik nya. Demikian pula dengan ukuran sesar, dapat berkisar dari sentimeter sampai puluhan kilometer tergantung pada mekanisme pergerakannya (Daneswara dkk., 2017). Jika pergeseran ini terjadi, maka wilayah di sekitar zona sesar menjadi rentan terhadap getaran atau pergerakan tanah, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan atau perubahan morfologi serta infrastruktur di atasnya (Muljo dan Helmi, 2007).

2.5 Sesar Panjang Lampung

Sesar Panjang yang berada di Provinsi Lampung merupakan salah satu sesar aktif. Sesar ini memiliki panjang sekitar 30 Km yang melewati beberapa kecamatan, seperti kecamatan Tarahan – Panjang - Kedamaian - Way Halim – Labuhan Ratu – Tanjung Senang – Rajabasa - Natar. Struktur sesar ini diperkirakan merupakan jenis sesar geser mendatar yang bergerak relatif ke arah kanan, dengan pengaruh tambahan dari gerakan *vertical*.

2.6 *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

Pada tahun 1945, Carl Wiley membuat pengembangan teknologi *Synthetic Aperture Radar (SAR)*, ia merancang serta melakukan kajian terhadap sistem *radar aperture* sintetik pertama yang diberi nama DOUSER (Yusrina dkk., 2019). *Synthetic Aperture Radar (SAR)* adalah teknologi penginderaan jauh yang menggunakan gelombang radar untuk menghasilkan citra resolusi tinggi dari permukaan bumi. Secara umum, SAR bekerja dengan cara mengirimkan sinyal dari satelit ke permukaan bumi, lalu sinyal dipantulkan oleh permukaan bumi tersebut untuk dikembalikan ke satelit dan direkam untuk disimpan (Arif dkk., 2016).

SAR dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan citra optik yang dipengaruhi oleh keberadaan awan serta hanya dapat merekam pada siang hari. Dengan menggunakan sensor radar pada antena SAR, perekaman dapat dilakukan baik siang maupun malam hari, serta akuisisi data SAR yang cepat dan bisa digunakan dalam pemantauan yang membutuhkan waktu yang cepat (Septiana dkk., 2017). Hal ini dimungkinkan, karena SAR memancarkan gelombang radio (mikrowave) yang dipancarkan langsung oleh sensor pemancar (*transmitter*) ke permukaan bumi, kemudian gelombang yang dipantulkan diterima kembali oleh sensor penerima (*receiver*). Dengan cara ini, SAR tidak bergantung pada radiasi matahari dalam proses pengamatan permukaan bumi (Saiyidinal, 2019). Teknologi SAR telah terbukti memiliki banyak kegunaan dalam

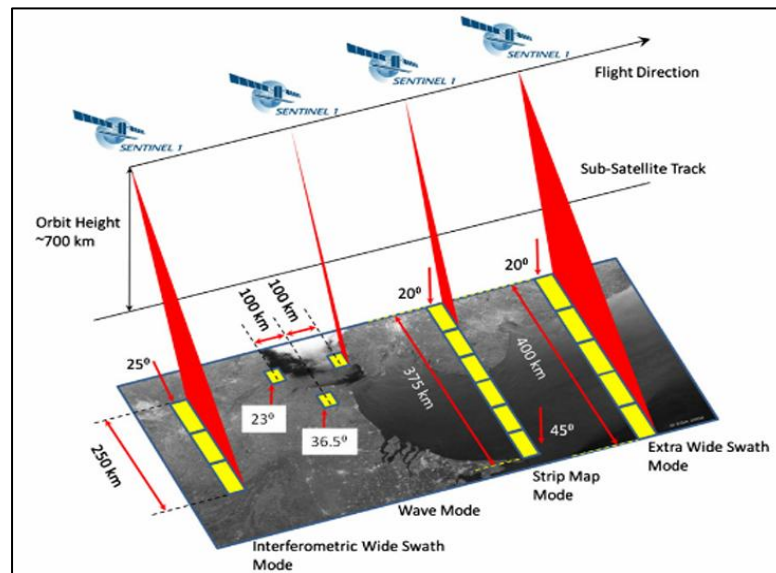
berbagai aplikasi, termasuk di bidang kelautan dan pemantauan es, kegiatan pertambangan, penurunan permukaan tanah, pengawasan pencemaran minyak, oseanografi, pemantauan salju, klasifikasi medan bumi, dan banyak lagi (Hidayah dkk., 2014).

2.7 Sentinel 1

Sentinel-1 adalah satelit yang dikembangkan oleh Eropa sebagai bagian dari program Copernicus, yang merupakan salah satu dari enam misi satelit yang diluncurkan untuk kegiatan tersebut. Program ini sebelumnya dikenal dengan nama GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) dan dipimpin oleh Uni Eropa bersama dengan Badan Antariksa Eropa (ESA). ESA bertanggung jawab untuk aspek luar angkasa dari program ini (Torres dkk., 2012).

Satelit Sentinel-1 dirancang sebagai konstelasi yang terdiri dari dua satelit SAR, yaitu Sentinel-1A dan Sentinel-1B, yang keduanya menggunakan spektrum C-Band. Sentinel-1A diluncurkan pada 3 April 2014, sedangkan Sentinel-1B diluncurkan pada 25 April 2016. Satelit Sentinel-1 dapat beroperasi dengan polarisasi tunggal (HH atau VV) serta polarisasi ganda (HH+VV atau VV+VH). Resolusi spasial dari data Sentinel-1 bervariasi tergantung pada mode akuisisi data yang diterapkan (Kumar dkk., 2022). Berikut ini beberapa mode akuisisi data untuk satelit Sentinel-1 :

1. Mode *Stripmap* (SM) memiliki lebar cakupan 80 km dan resolusi spasial sebesar 5 x 5 meter.
2. Mode *Interferometric Wide Swath* (IW) mencakup lebar sapuan sebesar 250 km dan memiliki resolusi spasial 5 x 20 meter.
3. Mode *Extra-Wide Swath* (EW) mencakup lebar sapuan sebesar 400 km dengan resolusi spasial 20 x 40 meter.
4. Mode *Wave* (WV) memiliki lebar sapuan 20 km yang terjaga setiap 100 km, dengan resolusi spasial 5 meter. Mode ini tersedia dalam opsi sudut datang 23° dan 36,5°



Gambar 2. Mode Akuisisi Satelit Sentinel-1.

Data yang direkam oleh satelit Sentinel-1 terbagi dalam beberapa tingkat atau level, yakni level-0, level-1, dan level-2. Data level-0 adalah data mentah yang diterima dari satelit dan belum siap digunakan oleh pengguna. Data level-1 adalah hasil pengolahan dari data level-0, sedangkan data level-2 merupakan data yang diperoleh dari pengolahan lebih lanjut data level-1 (Amriyah dkk., 2019). Berikut ini merupakan produk data citra Sentinel-1A beserta karakteristiknya, yang dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 2. Produk Karakteristik Sentinel-1A

Produk Sentinel-1A	Ukuran Data	Karakteristik
Level-0 Raw Data	1 GB	Data mentah
Level-1 SLC	8 GB	Terdiri dari amplitude dan fasa
Level-1 GRD	1 GB	Terdiri dari amplitude dengan intensitas multilook
Level-2 Ocean	150 MB	Terdapat parameter arus, gelombang dan arah angin

Sumber : (Cyntia dan Pudja, 2018).

Adapun Misi utama satelit Sentinel-1A/B mencakup pemantauan maritim, pemantauan lahan, dan kegunaan darurat lainnya. Dalam kebutuhan observasi kelautan, data dari Sentinel-1 digunakan untuk mengukur angin permukaan laut, arus permukaan laut, dan perubahan kondisi fisik kelautan. Dalam hal pemantauan lahan, data Sentinel-1 bermanfaat untuk pemetaan banjir, klasifikasi penggunaan lahan (seperti area bersalju dan hutan), pengukuran kelembaban permukaan tanah, serta pemetaan topografi lahan.

2.8 DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*)

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan teknologi penginderaan jauh yang menggunakan data satelit radar untuk mendeteksi dan mengukur perubahan deformasi pada permukaan tanah dengan tingkat ketelitian dari sentimeter hingga milimeter (Azhari dkk., 2020). Teknik ini dilakukan dengan membedakan dua *phase interferogram* dan mengeliminasi pengaruh topografi, gangguan atmosfer, serta noise, sehingga sinyal yang tersisa merepresentasikan deformasi yang terjadi (Qothrunnada dkk., 2021). Secara matematis, pergeseran *phase* ($\Delta\phi$) antara dua citra SAR dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Mussoddaq, 2023):

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

ϕ_2 = *phase* dari citra SAR kedua (*slave*)

ϕ_1 = *phase* dari citra SAR pertama (*master*)

Perbedaan *phase* ini lalu digunakan untuk menghitung deformasi permukaan bumi dengan mempertimbangkan panjang gelombang radar dan perubahan jarak antara dua waktu pengambilan citra. Teknik DInSAR ini untuk mengetahui pergerakan permukaan tanah dengan memanfaatkan perbedaan *phase* antara dua citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang di ambil pada waktu berbeda (Isabella dkk., 2021). Dalam prosedur DInSAR, setelah dilakukan perataan *interferogram* atau perbedaan *phase* antara dua

citra SAR pada waktu yang berbeda, komponen *phase* utama DInSAR terdiri atas dampak topografi dan deformasi ditunjukkan dengan persamaan (Saiyidinal, 2019) :

$$\phi_p = \frac{4}{\lambda} \left(D_{\text{defo}} + \frac{B_{\perp p}}{R_p \cdot \sin \theta_p} \cdot h_p \right) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- λ = Panjang gelombang
- D_{defo} = Deformasi permukaan
- $B_{\perp p}$ = Garis dasar tegak lurus
- R_p = Kisaran hamburan p ke sensor
- $\sin \theta$ = Sudut pandang
- h_p = Perubahan Ketinggian

Dengan memanfaatkan data DEM sebagai koreksi topografi, dapat diperoleh informasi mengenai deformasi atau pergerakan permukaan tanah yang kemudian dinyatakan dalam sebuah pernyataan (Fikri, 2019) sebagai berikut :

$$\phi(p) = 4\pi B_{\perp, p} / \lambda R_p [\Delta R(p)] \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- $\phi(p)$ = *phase* topografi yang dihitung pada DEM
- $B_{\perp, p}$ = Garis tegak lurus
- λ = Panjang gelombang
- $\Delta R(p)$ = Jarak miring antara target-sensor

Implementasi informasi *phase* dari dua data kompleks di dalam metode DInSAR dapat mengidentifikasi perubahan volume yang terjadi akibat deformasi permukaan tanah dalam jangka Panjang, khususnya penurunan atau kenaikan muka tanah secara beruntun. Di Indonesia, teknik ini banyak diterapkan dalam penelitian geodinamika dan pemantauan bencana alam, seperti gempa bumi, longsor dan penurunan muka tanah, seperti penelitian yang dilakukan (Zulfa, 2022) menggunakan DInSAR untuk

memantau penurunan permukaan tanah pada tahun 2018 – 2020 memberikan informasi mengenai penurunan permukaan tanah tiap tahun dan dapat digunakan untuk keperluan mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan yang lebih aman.

2.9 Besaran dan Laju Penurunan Permukaan Tanah

Besaran penurunan permukaan tanah didefinisikan sebagai perubahan posisi vertikal permukaan tanah terhadap suatu bidang referensi dalam periode waktu tertentu yang merepresentasikan akumulasi deformasi yang terjadi secara fisik, sehingga disebut sebagai besaran karena dinyatakan dalam nilai kuantitatif absolut dengan satuan milimeter atau sentimeter dan dapat dibandingkan antar lokasi maupun antar waktu pengamatan. Dalam kajian geodesi dan deformasi permukaan, istilah besaran digunakan untuk menunjukkan total perpindahan vertikal yang terukur, bukan kecepatan atau tren waktu, sehingga besaran penurunan menggambarkan seberapa besar muka tanah telah mengalami perubahan selama interval observasi tertentu (I Gede Boy dkk., 2019). Besaran penurunan permukaan tanah umumnya diperoleh melalui pengukuran deformasi vertikal menggunakan metode geodetik dan penginderaan jauh, salah satunya dengan teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR), di mana perubahan *phase* sinyal radar antar dua atau lebih waktu akuisisi dikonversi menjadi nilai deformasi sepanjang arah garis pandang (*line of sight*). Secara matematis, besaran deformasi permukaan tanah dihitung dari selisih posisi vertikal atau dari perubahan *phase* interferometri menggunakan persamaan

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \Delta R \dots\dots\dots(4)$$

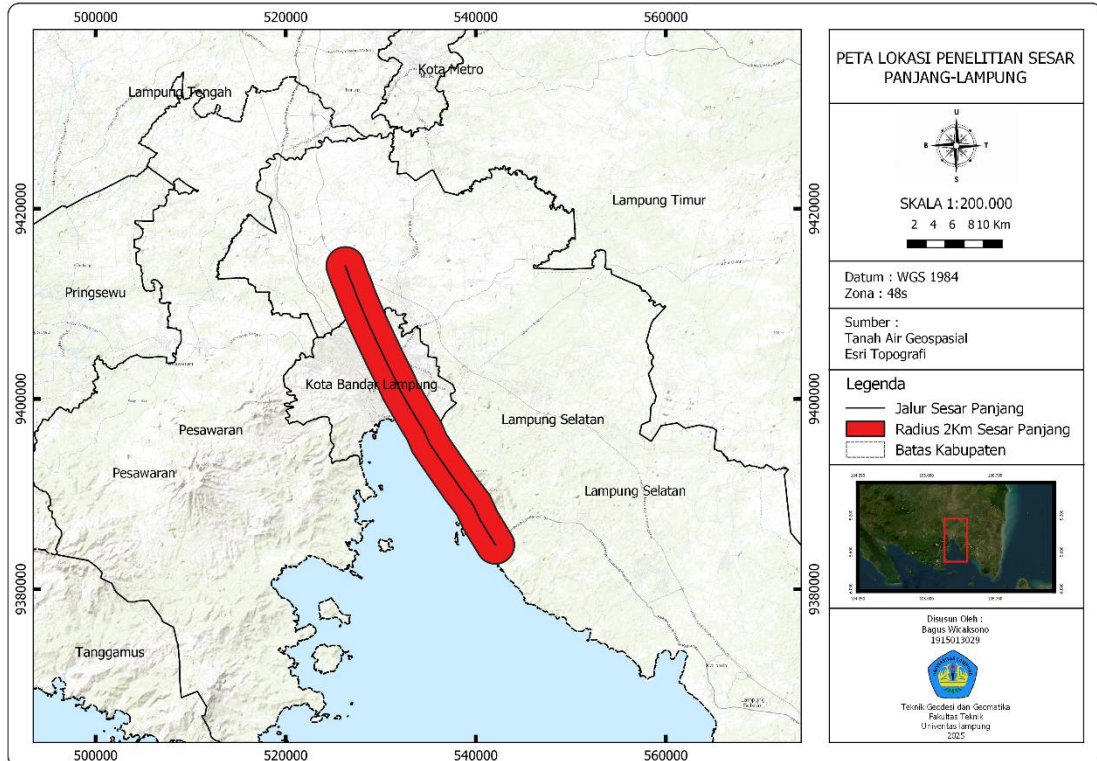
Keterangan :

- $\Delta\phi$ = Perubahan *phase* antara dua citra SAR
- λ = Panjang gelombang radar
- ΔR = Perubahan jarak antara sensor dan target
- π = Konstanta phi 3.14

Dengan mengetahui perubahan *phase* dan panjang gelombang, dapat menghitung perubahan jarak yang berkaitan dengan deformasi permukaan bumi (Akbar dan Setiawan, 2022). Nilai deformasi sepanjang garis pandang ini kemudian diproyeksikan ke arah vertikal untuk memperoleh besaran penurunan permukaan tanah secara aktual. Selanjutnya, untuk mengetahui karakteristik deformasi terhadap waktu, digunakan konsep laju penurunan permukaan tanah yang didefinisikan sebagai perbandingan antara besaran deformasi dengan selang waktu pengamatan, sehingga laju deformasi menunjukkan kecepatan terjadinya penurunan permukaan tanah dalam satuan mm/tahun. Dengan demikian, besaran deformasi mencerminkan total perubahan vertikal yang terjadi, sedangkan laju deformasi menggambarkan dinamika atau intensitas perubahan tersebut dari waktu ke waktu, dan keduanya menjadi parameter fundamental dalam analisis deformasi permukaan tanah berbasis SAR (Abidin dkk., 2009).

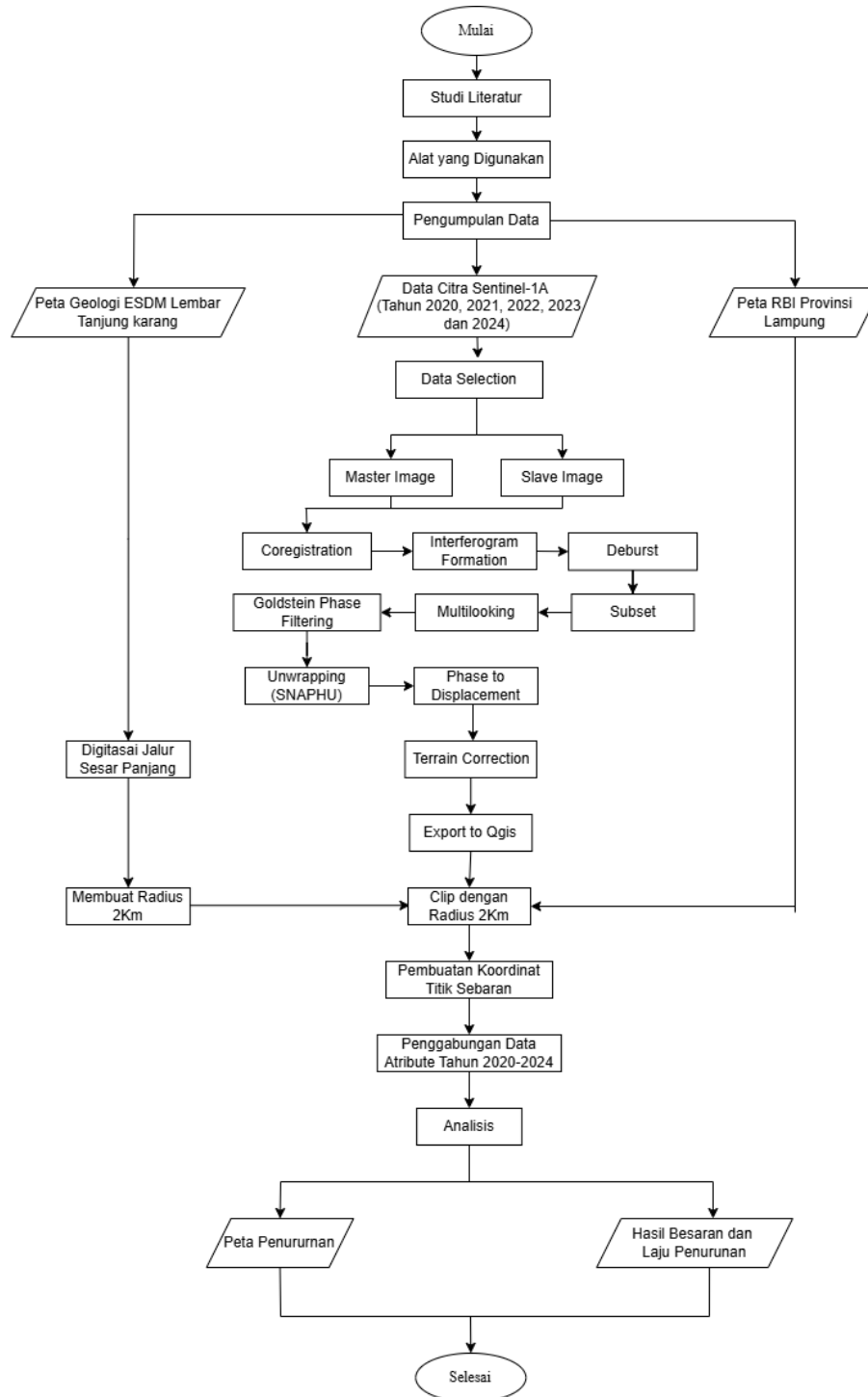
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di sepanjang jalur Sesar Panjang yang melintasi Provinsi Lampung, mencakup wilayah Kota Bandar Lampung dan Kabupaten Lampung Selatan. Wilayah ini dipilih karena merupakan zona yang memiliki potensi aktivitas tektonik tinggi akibat keberadaan Sesar Panjang yang aktif, sehingga rawan mengalami deformasi dan penurunan permukaan tanah. Selain itu, kawasan ini juga termasuk daerah dengan perkembangan infrastruktur dan permukiman yang pesat, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi penting bagi mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian Sesar Panjang Lampung

Secara keseluruhan, rencana pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini penulis memulai penelitian dengan mengidentifikasi permasalahan terkait pemantauan penurunan permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang Lampung menggunakan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) dengan data Sentinel-1A. Identifikasi permasalahan dilakukan untuk menentukan fokus penelitian, yaitu bagaimana menghasilkan informasi besaran penurunan dan laju deformasi tanah pada periode 2020–2024. Setelah itu, penulis melakukan pengumpulan referensi yang mendukung, meliputi teori DInSAR, karakteristik citra Sentinel-1A, Sesar Panjang, serta teknik pengolahan menggunakan SNAP, Snaphu, dan QGIS. Selanjutnya penulis mempersiapkan kebutuhan penelitian, termasuk pemilihan data citra Sentinel-1A, penentuan metode pengolahan, serta perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan. Tahap persiapan ini dilakukan untuk memastikan seluruh proses analisis berlangsung terarah, sistematis, dan sesuai standar ilmiah dalam kajian deformasi permukaan tanah berbasis penginderaan jauh.

3.1.1 Alat yang Digunakan Dalam Penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak untuk menunjang proses pengolahan data, analisis, serta penyusunan laporan. Adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Perangkat keras yang digunakan berupa satu unit laptop yang berfungsi untuk melakukan seluruh proses pengolahan serta penulisan laporan. Adapun spesifikasi laptop yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tipe	: Asus FX505DD
Sistem Operasi	: Windows 11 (64-bit)
Ram	: 8 GB
Processor	: AMD Ryzen 5 3550H

- b. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa aplikasi yang mendukung proses pengolahan menggunakan data Sentinel-1, serta analisis defirmasi. Rincian perangkat lunak dan kegunaannya dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 3. Perangkat lunak dan kegunaannya

No	Perangkat Lunak	Kegunaan
1	SNAP	Pengolahan data Sentinel-1, pembuatan <i>interferogram</i> , <i>filtering</i> , koreksi tipografi, dan tahap <i>pra-unwrapping</i>
2	SNAPHU	Melakukan phase <i>unwrapping</i> dari hasil pengolahan SNAP
3	QGIS	Visualisasi deformasi penurunan permukaan tanah
4	Microsoft Excel 2019	Perhitungan besaran dan laju penurunan permukaan tanah
5	Microsoft Word 2019	Penyusunan laporan penelitian

3.1.2 Data yang Digunakan Dalam Penelitian

Tahap persiapan data dilakukan dengan mengumpulkan serta memahami berbagai sumber referensi yang relevan, seperti jurnal, buku, skripsi, tesis, dan dokumen ilmiah yang membahas teknologi penginderaan jauh, interferometri, deformasi tanah, serta pengolahan data Sentinel-1 menggunakan perangkat lunak SNAP. Peneliti juga mengidentifikasi kebutuhan data utama, yaitu citra satelit Sentinel-1 yang diperoleh melalui Copernicus Open Access Hub sebagai input utama dalam pembuatan *interferogram* dan analisis deformasi menggunakan metode *Differential Synthetic Aperture Radar* (DInSAR). Selain itu, penelitian ini memanfaatkan Peta Geologi Lembar Tanjung Karang dari Kementerian ESDM sebagai acuan pendigitasian jalur Sesar Panjang Lampung, sehingga posisi sesar Panjang dalam peta deformasi dapat ditentukan secara lebih akurat sesuai kondisi geologi sebenarnya.

Selain data utama tersebut, penelitian ini juga menggunakan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Provinsi Lampung sebagai referensi spasial dalam proses *overlay* hasil deformasi. Peta RBI membantu memberikan informasi batas administrasi, jaringan jalan, dan fitur keruangan lainnya sehingga interpretasi wilayah terdampak deformasi dapat dilakukan secara lebih jelas, kontekstual, dan sesuai dengan kondisi lapangan. Dengan demikian, seluruh data yang dipersiapkan mendukung analisis deformasi tanah secara komprehensif dan meningkatkan ketelitian hasil akhir penelitian.

Tabel 4. Data dan Sumbernya

No	Nama Data	Tahun	Bulan Akusisi	Peran Data	Jenis Data	Sumber
1	Citra Sentinel-1	2020	Januari	Master	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
2	Citra Sentinel-1	2020	Desember	Slave	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
4	Citra Sentinel-1	2021	Desember	Slave	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
6	Citra Sentinel-1	2022	Desember	Slave	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
8	Citra Sentinel-1	2023	Desember	Slave	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
10	Citra Sentinel-1	2024	Desember	Slave	Raster	ESA (https://dataspace.copernicus.eu)
11	Peta Geologi Lembar Tanjung Karang	-	-	Data Pendukung	Raster	ESDM (https://geologi.esdm.go.id)
12	Peta RBI Provinsi Lampung	-	-	Data Pendukung	Vektor	Ina-Geoportal (https://tanahair.indonesia.go.id)

3.2 Tahap Pengumpulan Data yang Digunakan Dalam Penelitian

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan memperoleh berbagai dataset yang diperlukan untuk mendukung analisis penurunan permukaan tanah menggunakan metode DInSAR di sepanjang jalur Sesar Panjang Lampung. Data yang dikumpulkan berasal dari beberapa instansi resmi dan platform penyedia data penginderaan jauh, dengan format yang disesuaikan untuk keperluan pengolahan, analisis, dan visualisasi spasial. Adapun rincian data yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Citra Sentinel-1 diperoleh melalui platform Copernicus Open Access Hub. Citra ini digunakan sebagai data utama dalam penelitian ini, data Sentinel-1 dipilih karena memiliki resolusi temporal yang baik, mampu menembus awan, serta memiliki cakupan wilayah yang luas.
2. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang, yang diunduh dari laman resmi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui geologi.esdm.go.id. Peta ini digunakan untuk proses pendigitasian jalur Sesar Panjang Lampung sehingga posisi sesar yang menjadi fokus penelitian dapat ditentukan dengan akurat sesuai kondisi geologi sebenarnya.
3. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Provinsi Lampung, diperoleh dari Ina-Geoportal (Badan Informasi Geospasial). Peta RBI digunakan sebagai referensi keruangan dalam proses overlay hasil deformasi untuk menampilkan batas administrasi, jaringan jalan, dan fitur topografi lain yang mendukung interpretasi spasial wilayah terdampak pergerakan tanah.

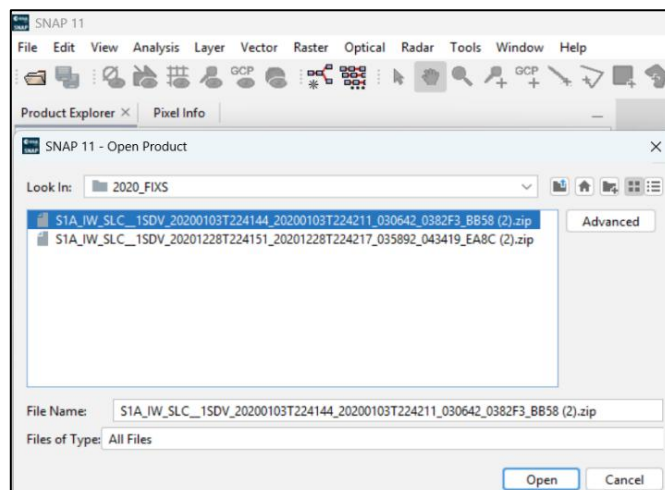
3.3 Pengolahan Data

Tahap pengolahan data dalam penelitian ini mengacu pada metodologi pengolahan DInSAR berdasarkan kajian literatur serta panduan teknis pemrosesan citra Sentinel-1. Proses pengolahan meliputi penyiapan citra menggunakan Apply orbit file, tahapan *co-registration* untuk menyelaraskan pasangan citra, *interferogram*, koreksi topografi,

filtering, pemerosesan phase *unwrapping* dengan SNAPHU, serta *geocoding*. Hasil dari setelah dilakuakn geocoding selanjutnya diekspor dan diolah menggunakan QGIS untuk melakukan perhitungan deformasi permukaan tanah, analisis spasial serta penyajian peta deformasi di sepanjang jalur Sesar Panjang-Lampung.

3.3.1 Data Selection Sentinel-1

Pada tahap awal, dilakukan pemilihan citra Sentinel-1 untuk tahun 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024 dengan mode akuisi *Interferometric Wide (IW)* dan polarisasi *VV*. setiap tahun dipilih dua citra yang mewakili rentang waktu pengamatan, yaitu citra bulan Januari dan Desember. citra bulan Januari ditetapkan sebagai master image karena berfungsi sebagai acuan referensi *phase*, sedangkan citra bulan Desember digunakan sebagai *slave image* untuk mendeteksi perubahan *phase* relatif terhadap master. Gambar berikut menunjukkan contoh pemilihan citra Sentinel-1 tahun 2020 (Januari sebagai *master* dan Desember sebagai *slave*) yang digunakan pada tahap data *selection*.

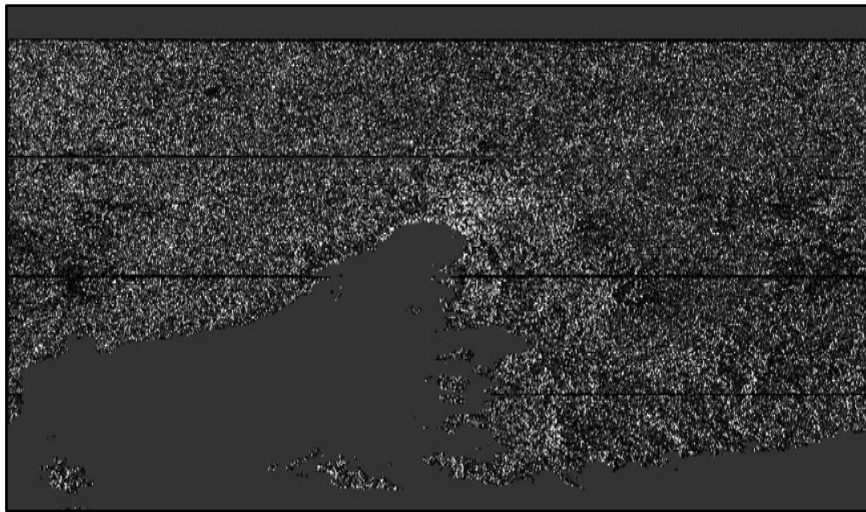


Gambar 5. Tahap Data Selection

3.3.2 Coregistration

Coregistration dilakukan untuk menyelaraskan citra *master* (Januari 2020) dan *slave* (Desember 2020, Desember 2021, Desember 2022, Desember 2023, Desember 2024)

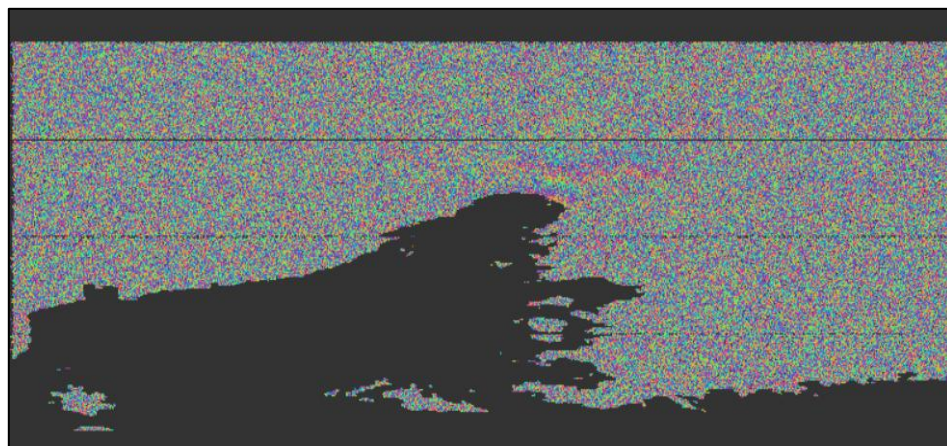
sehingga setiap piksel pada kedua citra merepresentasikan lokasi geospasial yang sama. Tahap ini merupakan syarat utama dalam pembentukan *interferogram* agar tidak terjadi pergeseran *phase* serta mencocokkan kedua citra menjadi 1 citra. Pada penelitian ini proses *coregistration* dilakukan menggunakan operator S-1 TOP Coregistration pada perangkat lunak SNAP. Citra yang telah terselaraskan menunjukkan pola *backscatter*. Berikut hasil citra setelah melalui proses *coregistration*.



Gambar 6. Hasil *Coregistration*

3.3.3 *Interferogram Formation*

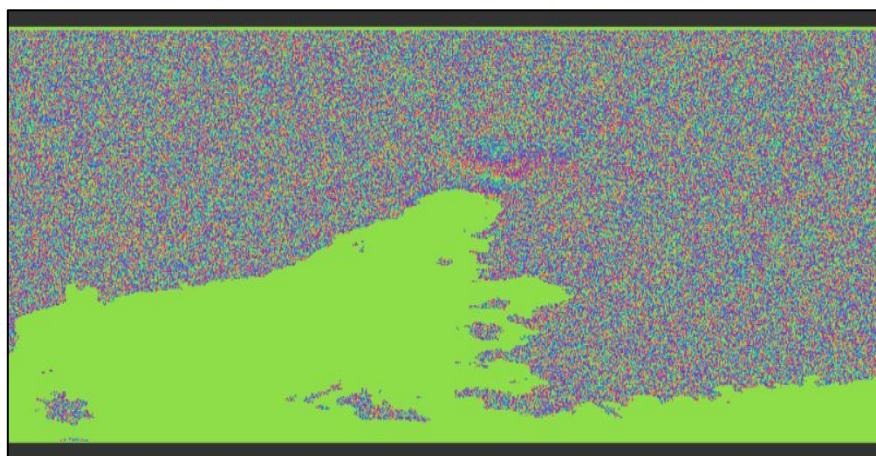
Pada tahap ini dilakukan pembentukan *interferogram* dengan mengombinasikan citra master dan *slabe* yang sebelumnya telah melalui proses *coregistration*. *Interferogram* dihasilkan dari perbedaan *phase* antara dua waktu perekaman citra, sehingga memuat informasi perubahan jarak antar sensor dan permukaan bumi. Proses ini dijalankan menggunakan operator *Interferogram Formation* pada SNAP dengan pengaturan standar untuk pembentukan *phase*. Tahap ini bersifat krusial karena *interferogram* yang dihasilkan menjadi dasar dalam analisis deformasi dan akan diproses lebih lanjut pada *multilooking*, *filtering* dan *phase unwrapping*. Hasil *interferogram* dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil *Interferogram*

3.3.4 *Deburst*

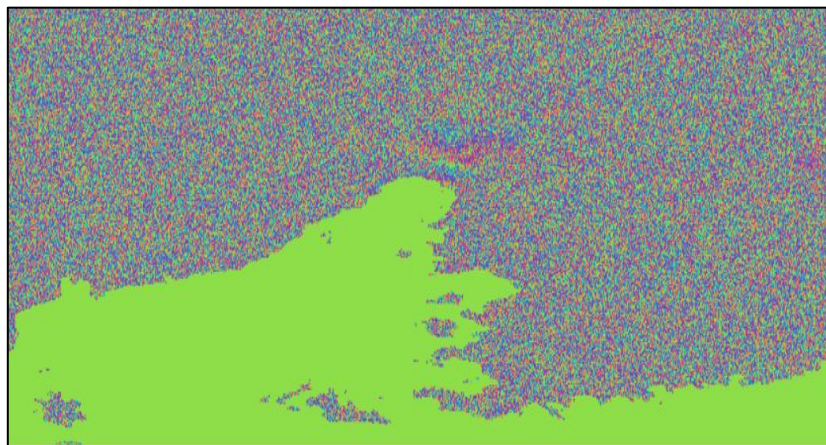
Tahap *deburst* dilakukan untuk menghilangkan batas antar-*burst* pada citra Sentinel-1A yang terbentuk akibat metode akuisisi TOPS. Setiap citra TOPS direkam dalam segmen-segmen *burst*, sehingga perlu dilakukan penyatuan agar data memiliki kontinuitas pada arah azimuth. Proses *deburst* memastikan citra *master* dan *slave* terselaraskan dalam struktur *burst* yang sama sehingga tidak menimbulkan ketidaksinambungan *phase* pada hasil *interferogram*. Tahapan ini dilakukan menggunakan operator TOPS *Deburst* pada perangkat lunak SNAP dengan konfigurasi default. Hasil citra yang telah tersambung dan siap untuk proses berikutnya ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil *Deburst*

3.3.5 Subset

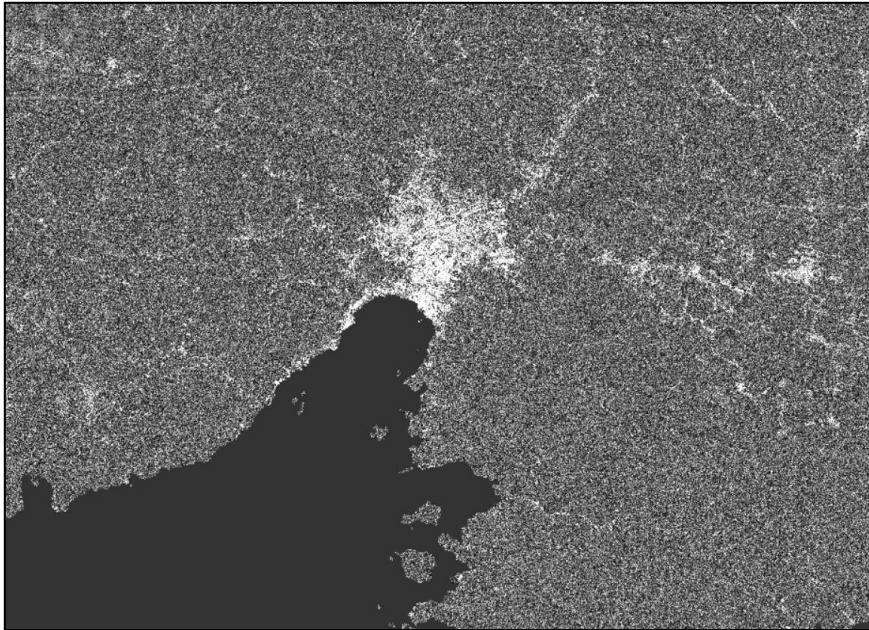
Tahap subset dilakukan untuk memastikan bahwa citra yang digunakan hanya mencakup area penelitian yang sudah ditetapkan. Pada proses ini citra Sentinel-1 dimasukkan ke operator subset pada SNAP agar area analisis terkunci dan tidak berubah pada tahapan berikutnya. Pada penelitian ini tidak dilakukan pemotongan citra karena keseluruhan cakupan citra masih diperlukan untuk memantau Sesar Panjang. Berikut hasil dari tahapan subset ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Subset

3.3.6 Multilooking

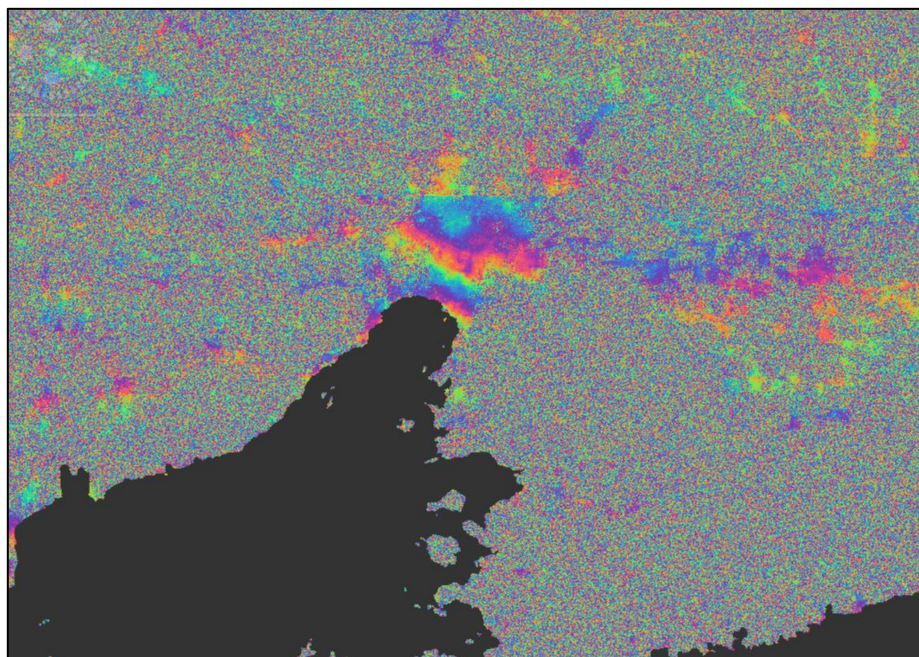
Tahap *multilooking* dilakukan untuk memperhalus tampilan *interferogram* agar lebih mudah dianalisis. Pada tahap ini, beberapa piksel digabungkan menjadi satu sehingga citra menjadi lebih stabil. Proses ini membantu mengurangi efek bintik-bintik (*spackle noise*) yang biasanya muncul dari citra radar, terutama di area dengan vegetasi atau permukaan yang tidak seragam. *Multilooking* dilakukan menggunakan operator *multilook* pada perangkat lunak SNAP setelah melalui tahapan *deburst* dan subset. Hasil *multilooking* menghasilkan *interferogram* yang tampil lebih halus dan lebih jelas, sehingga pola deformasi tanah dapat diamati dengan lebih baik, sebagaimana hasil dari *multilook* ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. hasil *Multilooking*

3.3.7 *Golden Phase Filtering*

Tahap *Golden Phase Filtering* dilakukan untuk mengurangi gangguan atau *noise* sehingga pola *phase* yang terbentuk menjadi lebih halus dan mudah teranalisis. Pada citra radar, gangguan sering muncul akibat permukaan tanah yang tidak seragam, vegetasi, serta kondisi atmosfer. Dengan menggunakan *Golden Phase Filtering* di perangkat lunak SNAP, nilai *phase* yang sebelumnya masih acak disaring agar lebih stabil dan konsisten, Proses ini membantu mempertahankan informasi penting mengenai deformasi tanah sekaligus mengurangi pola-pola acak yang tidak diinginkan. Hasil dari tahap ini berupa *interferogram* yang lebih bersih dan jelas sehingga sangat mendukung proses pengolahan berikutnya, yaitu tahapan *phase unwrapping* menggunakan perangkat lunak SNAPHU. Berikut contoh hasil *Golden Phase Filtering* ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil *Golden Phase Filtering*

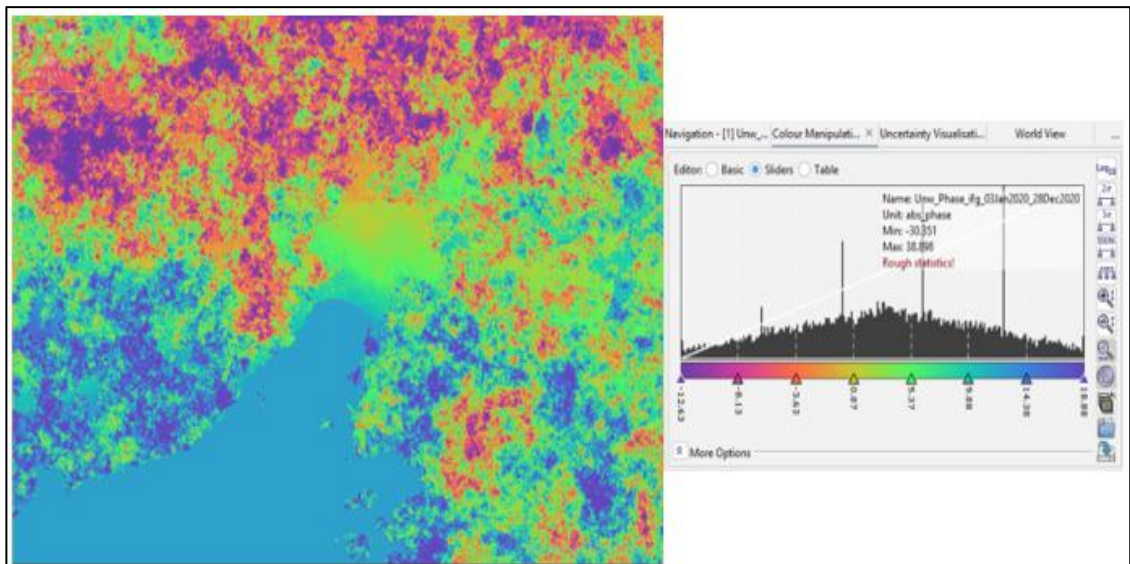
3.3.8 *Unwrapping* (SNAPHU)

Unwrapping merupakan tahapan penting dalam pengolahan DInSAR karena *phase interferogram* yang dihasilkan pada tahap sebelumnya masih berada dalam bentuk nilai satuan radian (*wrapped phase*). Nilai ini masih memuat ambiguitas sehingga belum dapat digunakan untuk menghitung perubahan jarak antar sensor dan permukaan tanah. Oleh karena itu, diperlukan proses *unwrapping* untuk membuka kontinuitas *phase* sehingga nilai *phase* dapat direpresentasikan sebagai perubahan geometris sesungguhnya.

Pada penelitian, proses *unwrapping* dilakukan menggunakan perangkat lunak tambahan SNAPHU, yang bekerja dalam tiga langkah. pertama, citra *interferogram* yang telah dilakukan *golden phase filtering* diekspor melalui tahapan *Snaphu Export*, data dikonversi ke format khusus agar dapat diproses oleh algoritma *snaphu*. Kedua, file hasil *export* kemudia di proses pada *Command prompt* atau biasa dikenal dengan istilah *cmd*, melalui perintah *snaphu* untuk menjalankan algoritma *unwrapping*. Proses

ini menghilangkan loncatan *phase* yang tidak sesuai dan membangun kembali pola *phase* secara lebih halus dan kontinu. Selanjutnya ketiga, hasil yang telah dilakukan *unwrapping* dimasukkan kembali ke dalam perangkat lunak SNAP melalui tahapan *Snaphu Import*, sehingga citra *phase* yang telah terbuka dapat digunakan dalam tahapan konversi menuju tahapan perubahan satuan dari *phase* menjadi *displacement* dengan satuan meter.

Hasil akhir dari proses ini adalah citra unwrapped phase yang sudah tidak lagi memiliki *phase jump* dan telah siap untuk dikonversi ke perubahan jarak (*displacement*) satuan meter. Citra ini menjadi dasar utama dalam analisis pembuatan peta penurunan permukaan tanah, besaran penurunan permukaan tanah serta analisis laju deformasi, berikut adalah hasil setelah dilakukan tahapan *unwrapping* ditampilkan pada Gambar 12. Hasil *Unwrapping*.

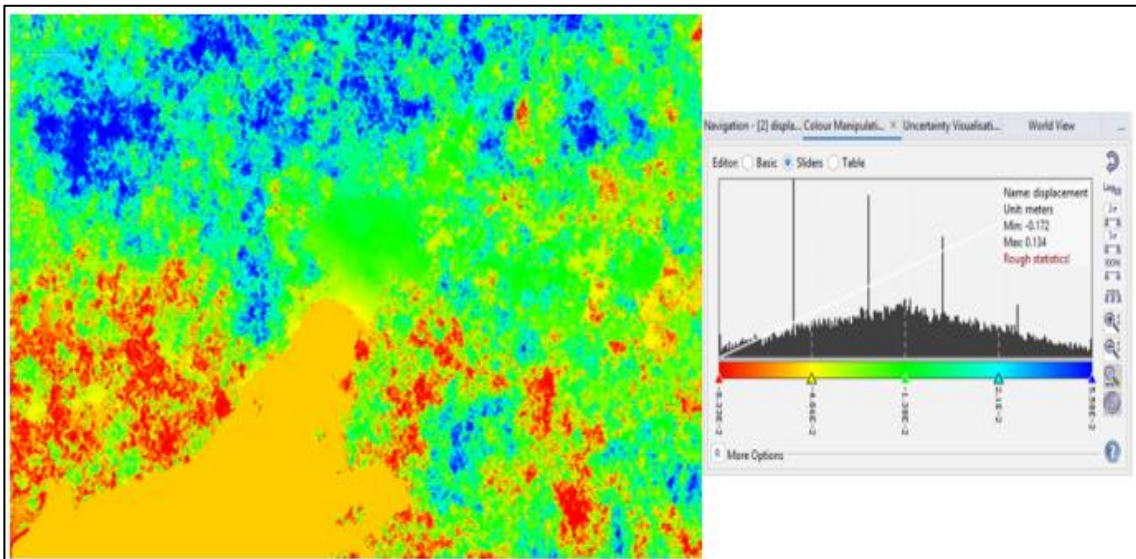


Gambar 12. Hasil *Unwrapping*

3.3.9 Phase to Displacement

Tahap *phase to displacement* dilakukan untuk mengubah nilai *phase* hasil *unwrapping* menjadi besaran deformasi permukaan tanah dalam satuan meter. Nilai *phase* pada

interferogram sebenarnya belum menunjukkan pergerakan tanah secara langsung, sehingga perlu dikonversi menggunakan Panjang gelombang radar. Proses ini dilakukan melalui operator *Phase to Displacement* pada perangkat lunak SNAP, yang akan menghitung perubahan jarak objek terhadap sensor berdasarkan perubahan *phase* yang terjadi. Hasil setelah dilakukan *phase to displacement*, nilai negatif menunjukkan pergerakan tanah mendekati sensor, sedangkan nilai positif menunjukkan pergerakan menjauhi sensor. Setelah proses ini selesai, dihasilkan citra deformasi yang sudah dapat diinterpretasikan untuk melihat adanya penurunan atau kenaikan permukaan tanah pada area penelitian. Berikut ini hasil dari tahapan pengolahan *phase to displacement* ditampilkan pada Gambar 13.

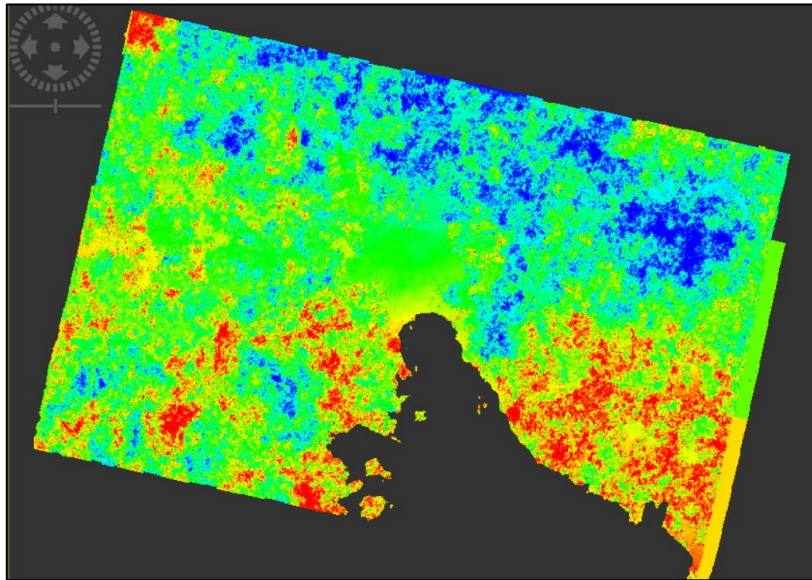


Gambar 13. Hasil *Phase to Displacement*

3.3.10 *Terrain Correction*

Pada tahap *terrain correction*, citra hasil pengolahan sebelumnya diperbaiki agar posisinya sesuai dengan kondisi permukaan bumi yang sebenarnya. Sebelum dilakukan koreksi, citra radar umumnya masih mengalami distorsi geografis, seperti tampilan yang terbalik atau bergeser akibat sudut perekaman sensor dan pengaruh topografi. Kondisi ini membuat posisi objek pada citra belum tepat secara spasial.

melalui proses *Renge-Doppler Terrain Correction* di perangkat lunak SNAP, citra disesuaikan menggunakan referensi dari DEM yang telah tersedia dari SNAP sehingga setiap piksel dapat ditempatkan pada koordinat yang benar. Setelah tahap ini dilakukan, orientasi citra menjadi normal kembali dan kesalahan posisi dapat diminimalkan. Hasil akhirnya adalah citra yang sudah tergeorferensi dengan baik, sehingga lebih akurat untuk analisis deformasi maupun *overlay* dengan peta lain seperti peta administrasi. Berikut merupakan hasil dari tahap *Terrain Correction* pada Gambar 14.



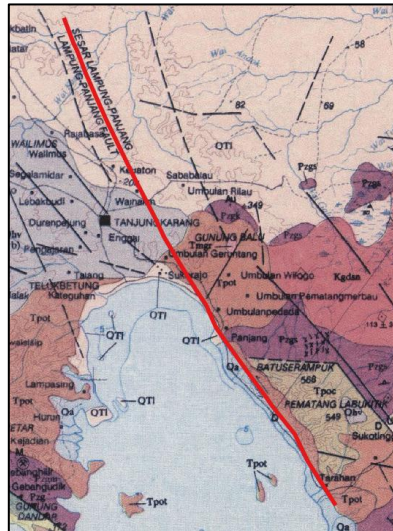
Gambar 14. Hasil *Terrain Correction*

3.3.11 *Export to Qgis*

Tahap *export to QGIS* dilakukan untuk memindahkan hasil pengolahan deformasi yang telah selesai dilakukan di SNAP. Pada proses ini, data *displacement* diekspor dalam format *GeoTIFF*, sehingga dapat dibuka dan dianalisis di QGIS. Format ini dipilih karena mendukung informasi spasial secara lengkap dan kompatibel dengan berbagai perangkat GIS. Setelah diekspor, data kemudian dimasukkan ke QGIS untuk dilakukan *overlay* dengan peta lain seperti peta administrasi, maupun jalur Sesar Panjang.

3.3.12 Digitasi Jalur Sesar Panjang

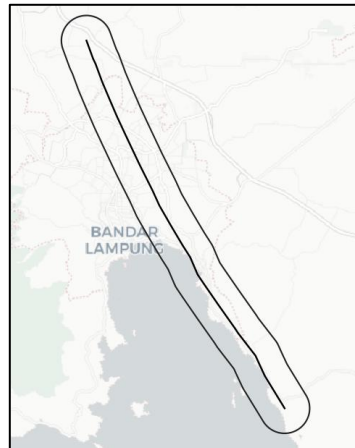
Digitasi jalur Sesar Panjang dilakukan menggunakan acuan peta geologi Lembar Tanjung Karang yang diunduh dari situs resmi Badan Geologi (geologi.esdm.go.id). Jalur sesar pada peta tersebut digambar ulang secara manual di perangkat lunak QGIS dengan menggunakan fitur *polyline*. Hasil digitasi ini kemudian disimpan sebagai layer vector dan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan *buffer* atau radius 2km sepanjang jalur Sesar Panjang serta proses *clip* pada tahapan pengolahan berikutnya. Berikut merupakan hasil tahapan digitasi jalur Sesar Panjang pada Gambar 15. yang ditandai dengan garis panjang berwarna merah.



Gambar 15. Hasil Digitasi Jalur Sesar Panjang

3.3.13 Buffer 2 Km pada Jalur Sesar Panjang

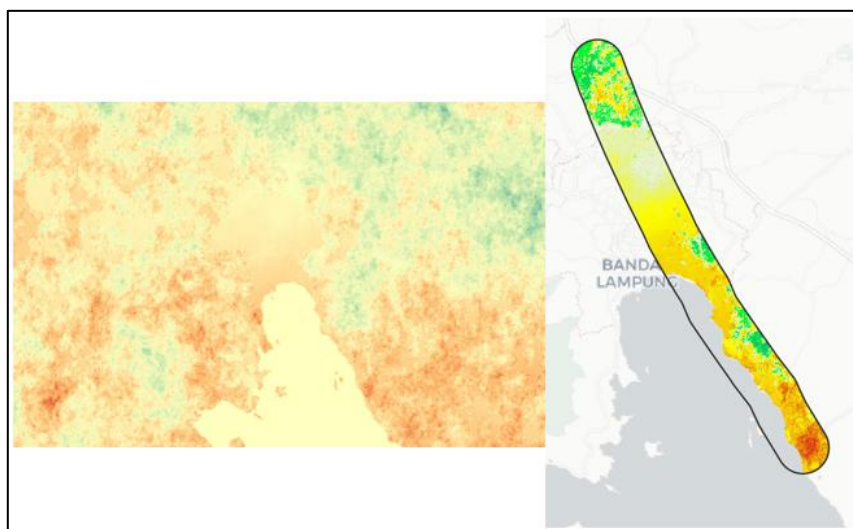
Setelah jalur Sesar Panjang berhasil dilakukan digitasi, Langkah berikutnya adalah membuat area radius (*buffer*) sejauh 2km ke kedua sisi jalur sesar. Proses ini dilakukan menggunakan tool *Buffer* pada perangkat lunak QGIS. Tujuan pembuatan *buffer* ini adalah untuk menentukan zona pengaruh sesar yang akan dianalisis lebih detail. Hasil *buffer* berupa layer *polygon* yang mempresentasikan area sejauh 2 km setiap sisi dari garis Sesar Panjang.



Gambar 16. Hasil *Buffer*

3.3.14 *Clip Citra*

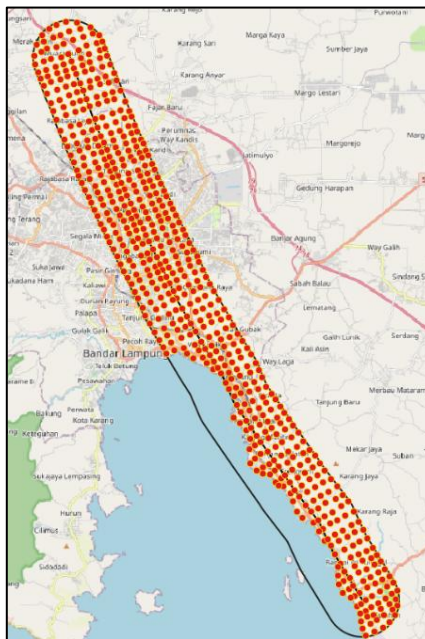
Layer *buffer* 2km yang telah dibuat sebelumnya digunakan sebagai batas area (*boundary*) untuk memotong hasil deformasi yang diperoleh dari metode DInSAR tahun 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024 yang diolah di perangkat lunak SNAP. Tahap pemotongan dilakuakn menggunakan tool *Clip Raster by Mask Layer* pada QGIS. Pada tahap ini, layer raster hasil deformasi metode DInSAR dipotong menggunakan layer *buffer* 2 km jalur Sesar Panjang, sehingga interpretasi deformasi lebih terfokus pada wilayah yang yang berpotensi dipengaruhi oleh aktivitas sesar.



Gambar 17. Sebelum *Clip* (kiri) Sesudah *Clip* (kanan)

3.3.15 Pembuatan Titik Sebaran

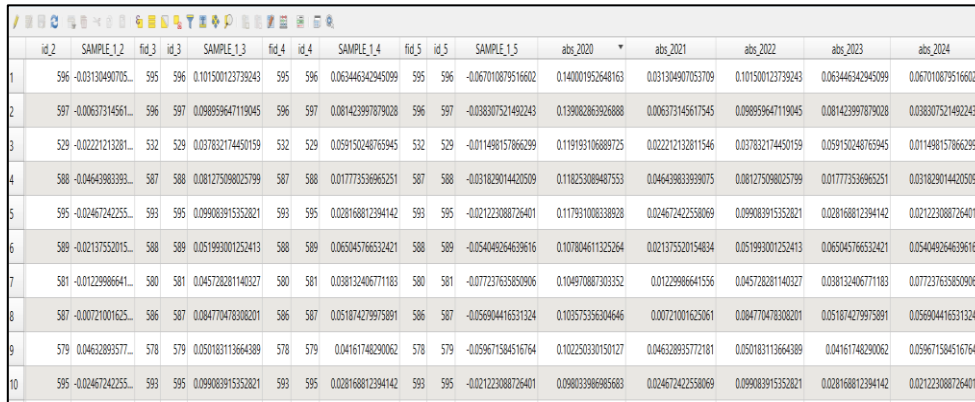
Pembuatan koordinat titik sebaran dilakukan untuk memperoleh titik-titik pengamatan yang akan digunakan dalam pengambilan nilai deformasi dari hasil pengolahan metode DInSAR. Pada penelitian ini, titik sebaran dibuat secara manual melalu proses digitasi di QGIS, bukan menggunakan metode digitasi otomatis menggunakan *tool* yang tersedia pada perangkat lunak QGIS. Digitasi manual dipilih karena memberikan kendali penuh terhadap posisi titik yang ingin diambil. Selain itu, penggunaan digitasi otomatis berpotensi menghasilkan titik pada area yang tidak relevan, seperti perairan, karena Sebagian radius 2 km dari jalur Sesar Panjang mencakup wilayah laut. Kondisi tersebut tentu tidak sesuai dengan kebutuhan penelitian, sehingga penempatan titik secara manual lebih tepat untuk memastikan seluruh titik berada pada area daratan. Dalam prosesnya, peneliti membuat layer titik baru kemudian menambahkan titik satu per satu pada area yang ingin diambil. Setiap titik yang ditambahkan tersimpan beserta koordinat X dan Y. berikut merupakan hasil dari sebaran titik koordinat pada Gambar 18. Hasil Titik Sebaran.



Gambar 18. Hasil Titik Sebaran

3.3.16 Penggabungan Data Tahun 2020-2024

Tahap penggabungan data atribut dilakukan untuk menyatukan nilai deformasi dari setiap tahun ke dalam satu *table*. Setiap tahun menghasilkan nilai perpindahan yang berbeda untuk lokasi titik yang sama, sehingga seluruh data perlu digabung agar mudah dilakukn analisis. Pada proses ini, nilai deformasi dari masing masing tahun di-join ke *layer* titik sebaran menggunakan identitas titik sebagai penghubung. Hasil akhirnya berupa satu tabel yang berisi koordinat titik serta nilai pergerakan tanah untuk tahun 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024. Tahap ini penting untuk memudahkan tahapan selanjutnya, seperti untuk menghitung besaran dan laju deformasi.



	id_2	SAMPLE_1_2	fid_3	id_3	SAMPLE_1_3	fid_4	id_4	SAMPLE_1_4	fid_5	id_5	SAMPLE_1_5	abs_2020	abs_2021	abs_2022	abs_2023	abs_2024
1	596	-0.03130490705...	595	596	0.101500123739243	595	596	0.063446342945099	595	596	-0.067010879516602	0.140001952648163	0.031304907053709	0.101500123739243	0.063446342945099	0.067010879516602
2	597	-0.00637314561...	596	597	0.098859647119045	596	597	0.081423997879028	596	597	-0.038307521492243	0.139082862926888	0.006373145617545	0.098859647119045	0.081423997879028	0.038307521492243
3	529	-0.02221213281...	532	529	0.037832174450159	532	529	0.059150240785945	532	529	-0.011498157866299	0.119193106889725	0.022212132811546	0.037832174450159	0.059150240785945	0.011498157866299
4	588	-0.04643983393...	587	588	0.081275098025799	587	588	0.017775336965251	587	588	-0.031829014420509	0.118253089487553	0.04643983399075	0.081275098025799	0.017775336965251	0.031829014420509
5	595	-0.02467242255...	593	595	0.099003915352821	593	595	0.028168812394142	593	595	-0.021223088726401	0.117931008338928	0.024672422558069	0.099003915352821	0.028168812394142	0.021223088726401
6	589	-0.02137552015...	588	589	0.051993001252413	588	589	0.065045766532421	588	589	-0.054040264639616	0.107804611325264	0.021375520154834	0.051993001252413	0.065045766532421	0.054040264639616
7	581	-0.01229986641...	580	581	0.045728281140327	580	581	0.03813240671183	580	581	-0.077237635850906	0.104970887303352	0.01229986641556	0.045728281140327	0.03813240671183	0.077237635850906
8	587	-0.00721001625...	586	587	0.084770478308201	586	587	0.051874279975891	586	587	-0.05690416531324	0.103575356304646	0.00721001625061	0.084770478308201	0.051874279975891	0.05690416531324
9	579	0.04632893577...	578	579	0.050183113664389	578	579	0.04161748290062	578	579	-0.059671584516764	0.10225030150127	0.046328935772181	0.050183113664389	0.04161748290062	0.059671584516764
10	595	-0.02467242255...	593	595	0.099003915352821	593	595	0.028168812394142	593	595	-0.021223088726401	0.098033986985683	0.024672422558069	0.099003915352821	0.028168812394142	0.021223088726401

Gambar 19. Hasil Penggabungan Data

3.3.17 Tahap Analisis

Tahap analisis dilakukan setelah seluruh pengolahan data DInSAR tahun 2020-2024 selesai dilakukan dan menghasilkan nilai deformasi permukaan tanah. Pada tahap ini, data yang telah di proses diinterpretasikan lebih lanjut untuk memahami karekteristik penurunan permukaan di wilayah penelitian. Analisis dibagi menjadi dua bagian, yaitu pembuatan peta penurunan permukaan tanah dan perhitungan besaran serta laju penurunan permukaan tanah tahunan. Peta penurunan permukaan digunakan untuk melihat pola deformasi secara spasial, sehingga area yang mengalami penurunan

signifikan dapat teridentifikasi dengan jelas. Sementara itu, perhitungan besaran dan laju penurunan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan yang terjadi pada setiap periode pengamatan, sekaligus mengungkap kecenderungan pergerakan tanah dari tahun ke tahun. kedua jenis analisis tersebut saling melengkapi dan menjadi dasar dalam memahami dinamika penurunan permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang Lampung serta merumuskan kesimpulan akhir penelitian.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Hasil penelitian mengenai penurunan permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang menggunakan metode DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*) dengan data Sentinel-1 pada pengamatan tahun 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 menghasilkan beberapa kesimpulan utama sebagai berikut.

1. Peta penurunan permukaan tanah yang dihasilkan mampu menggambarkan pola spasial deformasi di sepanjang jalur Sesar Panjang selama periode 2020-2024, *subsidence* terbesar teridentifikasi pada tahun 2020 sebesar -0,1400 m dan *uplift* terbesar terjadi pada tahun 2024 sebesar 0,2693 m. Secara temporal, pola deformasi selama lima tahun pengamatan menunjukkan pergeseran dari dominasi penurunan permukaan tanah pada awal periode 2020 dan 2021 menuju berubah arah pergerakan ke *uplift* pada periode 2022-2024. Secara keseluruhan, peta deformasi selama lima tahunan menunjukkan bahwa jalur Sesar Panjang mengalami dinamika deformasi permukaan tanah yang bervariasi antar tahun pengamatan dan berbeda antar bagian jalur sesar selama periode penelitian.
2. Analisis besaran dan laju deformasi permukaan tanah periode periode 2020-2024 di sepanjang jalur Sesar Panjang menunjukkan variasi yang terlihat jelas secara temporal dan spasial. Besaran deformasi tahunan memperlihatkan *subsidence* terbesar terjadi pada tahun 2020 dan 2021 masing-masing sebesar -0,1400 m dan -0,1388 m, sedangkan pada tahun 2022 sampai 2024 teridentifikasi *uplift*, dengan nilai terbesar

0,2358 m pada tahun 2022, 0,2088 m tahun 2023, dan 0,2693 m pada tahun 2024. Analisis trendline pada jalur Sesar Panjang menunjukkan perubahan deformasi tidak berlangsung secara linier, melainkan mengalami pergeseran arah pergerakan yang telah antar tahun pengamatan Grafik memperlihatkan subsidence tahun 2020 dan 2021, kemudian pembalikan arah tahun 2022 menuju uplift, yang selanjutnya berfluktuasi tahun 2023 dan kembali menguat tahun 2024. Pola ini memiliki arah yang tegas dan selaras dengan hasil perhitungan laju deformasi, di mana laju penurunan tercatat sebesar $-0,0246$ m/tahun pada tahun 2021 dan $-0,0356$ m/tahun pada 2023, sementara laju kenaikan sebesar $0,1545$ m/tahun pada tahun 2022 dan pada tahun 2024 sebesar $0,0974$ m/tahun. Dengan demikian, analisis besaran dan laju deformasi memberikan gambaran yang jelas bahwa deformasi permukaan tanah di sepanjang jalur Sesar Panjang mencerminkan dinamika geologi yang berubah-ubah dan penting untuk memahami kecenderungan deformasi jangka menengah hingga panjang.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran yang sekiranya dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah saran yang dapat dilakukan.

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memanfaatkan data GNSS sebagai data pembandingan dan validasi, guna meningkatkan keakuratan serta keandalan estimasi deformasi permukaan tanah.
2. Peneliti selanjutnya digarapkan menggunakan data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan resolusi yang lebih tinggi untuk meminimalkan kesalahan *phase* akibat topografi pada pengolahan DInSAR.
3. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji keterkaitan deformasi permukaan tanah hasil DInSAR dengan faktor-faktor yang umum mempengaruhi deformasi permukaan tanah, seperti curah hujan, litologi, serta aktivitas manusia, guna memahami mekanisme deformasi yang terjadi di sepanjang Sesar Panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Gamal, M., & Fukuda, Y. (2009). *Land Subsidence and Urban Development in Jakarta (Indonesia)*.
- Akbar, G. D. P. N., & Setiawan, B. (2022). Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Jambi Dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar Tahun 2016 – 2021. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 3(1), 20–29. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.71>
- Amriyah, Q., Arief, R., Dyatmika, H. S., & Maulana, R. (2019). *Analisis Perbandingan Data Level-1 Sentinel 1A/B (Data SLC dan GRD) Menggunakan Software SNAP dan GAMMA*.
- Arif, M. A., Wijanto, H., & Prasetyo, A. D. (2016). *Perancangan Duplexer jenis Ferrite Circulator Untuk Aplikasi Synthetic Aperture radar (SAR) Realization of Ferrite Circulator Type Duplexer for Synthetic Aperture Radar (SAR)*.
- Azhari, M. F., Karyanto, K., Rasimeng, S., & Mulyanto, B. S. (2020). Analisis Deformasi Permukaan Menggunakan Metode DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) Pada Studi Kasus Gempa Bumi Lombok Periode Agustus 2018. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 6(2), 131–144. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i2.68>
- Bader, J. W., Li, S., & Li P Figure, P. S. (2020). *Normal Fault Strike-Slip Fault (Left-Lateral)*.
- Cyntia, & I Putu Pudja. (2018). Analisis Penurunan Permukaan Tanah DKI Jakarta dengan Metode Differential Interferometric Synthetic Aperture radar (DINSAR). In *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* (Vol. 02, Number 02).
- Daneswara, B., Kusuma, I., Awaluddin, M., & Yuwono, D. (2017). Survey Deformasi Sesar kaligarang dengan Metode Pengamatan GPS Tahun 2016. In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 6, Number 1).
- Danoedoro, P. (2007). *Penginderaan jauh Digital Untuk Mendukung Kegiatan Survei Pemetaan Di Indonesia*.
- Dwina Archenita, Silvia nengsih, Desmon Hamid, Monika Natalia, & Merly Misriani. (2015). *Kajian Land Subsidence Untuk Perkuatan Tanah (Studi Kasis Sawah Lunto)*. 2, 5. <http://syawal88.wordpress.com/2013/04/14/s>

- Hadi Suntoko, S. I., Bondan, A., Alhakim, E. E., Vulkanologi, P., Mitigasi, D., Geologi, B., Geologi, B., Diponegoro, J., Sistem, P. K., Nuklir, E., Kuningan Barat, J., Selatan, J., & Artikel, R. (2019). Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Analisis Morfotektonik dan Pemetaan Geologi pada Identifikasi Sesar Permukaan di daerah Plampang, Pulau Ngali dan Pulau Rakit, Provinsi Nusa Tenggara Barat. In *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* (Vol. 21, Number 1).
- Haerudin, N., Rustadi, R., Fitriawan, H., Siska, D., & Farid, M. (2019). Earthquake Disaster Mitigation Mapping By Modeling of Land Layer and Site Effect Zone in The Kota Baru of South Lampung. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 8(1), 53–67. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v8i1.3705>
- Haryono, A. (2022). Analisis Pola Tegasan untuk Menentukan Tipe Sesar Grindulu di Pacitan, Jawa Timur. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 5, 2022.
- Hidayah Mt.R, N., Dwi Prasetyo, A., & Andi Nurmantris, D. (2014). *Rancang Bangun Antena Microstrip Array dengan Teknik pencautan Proximty Coupler Untuk Sensor Circular Polarized Synhethic Aperture radar (CP-SAR)*.
- I Gede Boy, Farhan Yassar, Asmara Kandi, & Ida Bagus Suananda. (2019). *Aplikasi Citra SAR Untuk Pemetaan Deformasi Akibat gempa Bumi Dengan Metode DinSAR*.
- Isabella Panggabean, M., Janu Amarrohman, F., & Prasetyo, Y. (2021). *Kajian Penurunan Muka Tanah Menggunakan Differential Interferometric Synhethic Aperture Radar dan Unmanned Aerial Vechicle (UAV) (Stude Kasus : Wilayah Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak STA 17-22)* (Number 10).
- Iwan Suniada, K. (2021). *Pemanfaatan Data Citra Satelit Sentinel-1 Untuk Pemantauan sebaran Tumpahan Minyak di WPP 713*. <https://scihub.copernicus.eu/>.
- Jayatri, A. U., Multi, W., & Hayatuzzahra, S. (2023). *Identifikasi Keberadaan Sesar Menggunakan Metode Gravitasi dan Analisis Second Vertical derivate (SVD) di Bagian Selatan Kabupaten Sumbawa* (Vol. 7, Number 2). <http://jurnal.uts.ac.id>
- Kumar, V., Huber, M., Rommen, B., & Steele-Dunne, S. C. (2022). A National-scale Database of Parcel-level Processed Sentinel-1 SAR data. *Scientific Data*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01474-4>
- Kurniawan, A., Yuwono, D., & Sabri, L. M. (2013). Analisis Penurunan Muka Tanah Daerah Semarang Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.04 Kurun Waktu 2008-2013. *Jurnal Geodesi Undip Oktober*, 2(4). <https://doi.org/10.04>
- Minardi, S., Ardianto, T., & Alaydrus, A. T. (2014). *Pemodelan Gaya Berat Untuk Mendeteksi Keberadaan Sesar di Pulau Lombok*.
- Muhammad Farrel Syuhada. (2023). *Analisis Baseline CORS CTRA dan CORS ULPC Berdasarkan Data Pengamatan GPS Tahun 2022*.

- Muljo, A., & Helmi, F. (2007). Sesar lembang dan Resiko Kegempaanannya. In *Bulletin of Scientific Contribution* (Vol. 5, Number 2).
- Mussoddaq, M. (2023). *Analisis dan Deteksi Deformasi Permukaan Tanah Berupa Longsor dan Retakan Wilayah Ponorogo Menggunakan Sentinel-1*. <http://www.esa.int>
- Nur Istiqomah, L., Sabri, L., & Sudarsono, B. (2020). *Analisis Penurunan Muka tanah Kota Semarang Metode Survei GNSS Tahun 2019* (Vol. 9, Number 2). <http://inaCORS.big.go.id>
- Pardamean Siringoringo, L. (2021). A NEW INTERPRETATION OF THE EXISTENCE OF THE PANJANG REGIONAL FAULT BASED ON DEM AND FIELD OBSERVATIONS IN LAMPUNG, SUMATRA, INDONESIA. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 18(2), 117–124. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2021.v18.a3405>
- Prasetyo, Y., & Sugiastu Firdaus, H. (2018). Studi Korelasi Kapasitas Akuifer Terhadap Penurunan Permukaan Tanah dengan Metode Ps-Insar (Studi Kasus Kota Semarang). In *Jurnal Geodesi Undip Oktober* (Vol. 7, Number 4).
- Qothrunnada Salsabila, A., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). Analisis Penurunan Permukaan Tanah (PMT) Dengan Menggunakan Metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DINSAR) (Studi Kasus : Pesisir Kabupaten Demak). In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Number 10).
- Risty Khoirunisa, B. D. Y. A. P. W. (2015). *analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015 menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.5*.
- Saiyidinal Fikri. (2019). *Monitoring Perubahan Permukaan Tanah di Kawasan Lumpur Sidoarjo dan Sekitarnya Menggunakan Metode PS-INSAR dengan Data Sentinel-1 Pada Tahun 2017 - 2019*.
- Saputro, E. A., Kahar, S., & Sasmito, B. (2012). *Deteksi Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Dengan teknik DifferentialSynhethic Aperture radar (DINSAR) menggunakan Software ROI_PAC Berbasis Open Source*.
- Sendy Ayu Yulta. (2018). *Aplikasi MetodeSBAS-DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1A Untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah Di Kota Surabaya*.
- Septiana, B., Putra Wijaya, A., & Suprayogi, A. (2017). Analisis Perbandingan Hasil Ortohorektifikasi Dengan Metode Range Dopler terrain Correction dan Metode SAR Simulation Terrain Correction Menggunakan Data Sentinel-1. In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 6, Number 1).
- Sidiq, T. P., Gumilar, I., Alkadri, F., & Abidin, H. Z. (2014). INSAR (Interferometric Synhethic Aperatur Radar) Time-Series Analysis in deformation Monitoring of Porong, Sidoharjo 2014-2018. In *INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR) TIME-SERIES ANALYSIS IN DEFORMATION MONITORING OF PORONG* (Vol. 15, Number 1). Teguh P.

- Sulandari, B., Suteja, A., Hadibroto, H., Nurmaliah, Setyanta, B., & Garniwa, A. (2023). Deliniasi Struktur Sesar Lampung-Panjang dan Identifikasi Potensi Sumberdaya Alam Berdasarkan Anomali Magnet Daerah Bandar Lampung. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 24(4), 195–203. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i4.721>
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B. Ö., Floury, N., Brown, M., Traver, I. N., Deghaye, P., Duesmann, B., Rosich, B., Miranda, N., Bruno, C., L'Abbate, M., Croci, R., Pietropaolo, A., ... Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission Penginderaan Jauh Lingkungan. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- Ulma, T. (2021). Analisis Deformasi Kota Surabaya Di Wilayah Sekitar Sesar Kendeng dengan Metode PS-InSAR. *Jurnal Geosaintek*, 7(2), 55. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v7i2.8582>
- Yusrina, A., Yosef Suratman, F., & Arseno, D. (2019). *Pembentukan Citra Synthetic Aperture Radar (SAR) Menggunakan Metode Back Projection Establishent of Synthetic Aperture radar (SAR) Image By Using Backprjection Method.*
- Zulfa Aqtia Puspitarini. (2022). *Aplikasi Metode DInSAR pada Citra Sentinel 1 Untuk Menentukan Penurunan Permukaan Tanah di Daerah Pesisir Kaligawe, Semarang.*