

**ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE
INSAR UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH
KERJA PANAS BUMI PT.GEO DIPA ENERGI
(PERSERO) UNIT DIENG**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau
Pekanbaru



OLEH

ARIC ARADHANA OKTAVIAN

213610833

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2025

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE
INSAR UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH
KERJA PANAS BUMI PT.GEO DIPA ENERGI
(PERSERO) UNIT DIENG

Disusun oleh:



Aric Aradhana Oktavian

213610833

Diperiksa dan disetujui oleh:



Prof. Ir. H. Husnul Kausarian, B.Sc(Hons), M.Sc, Ph.D

NIDN : 1014028602

Mengetahui Ka Prodi Teknik Geologi



Budi Prayitno S.T.,M.T

NIDN : 1010118403

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (Strata Satu), baik di Universitas Islam Riau maupun diperguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Penggunaan “software” komputer bukan menjadi tanggung jawab Universitas Islam Riau.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan tidak kebenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 21 Januari 2026
Yang bersangkutan menyatakan,



Aric Aradhana Oktavian
213610833

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PENELITIAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Islam Riau, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aric Aradhana Oktavian
NPM : 213610833
Program Studi : Teknik Geologi
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalt Non-Eksklusif (Non Exclusive Royalt Free Right) kepada Universitas Islam Riau demi kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan atas karya ilmiah saya yang berjudul: **ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE INSAR UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT.GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak tersebut maka Universitas Islam Riau berhak menyimpan, mengalih mediakan/format, mengelola dalam bentuk pangkalan data, merawat dan mepublikasi karya ilmiah saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Pekanbaru, 21 Januari 2026
Yang bersangkutan menyatakan,


Aric Aradhana Oktavian
213610833

**ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE
INSAR UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH
KERJA PANAS BUMI PT.GEO DIPA ENERGI
(PERSERO) UNIT DIENG**

ARIC ARADHANA OKTAVIAN

Program Studi Teknik Geologi

SARI

Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng merupakan kawasan panas bumi aktif yang berkembang pada lingkungan vulkanik dengan kondisi geologi kompleks dan topografi terjal. Kondisi tersebut menjadikan wilayah ini rentan terhadap deformasi permukaan berupa penurunan (subsidence) maupun pengangkatan (uplift), yang dapat dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik, karakteristik litologi, serta kegiatan produksi panas bumi. Deformasi permukaan berpotensi memengaruhi kestabilan wilayah dan keamanan infrastruktur panas bumi, khususnya jalur pipa dan fasilitas permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi permukaan tahunan di WKP Dieng periode 2020–2025 menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) berbasis data Sentinel-1 Level-1 SLC, serta mengkaji keterkaitannya dengan faktor geologi, tutupan lahan (Land Use Land Cover/LULC), dan kemiringan lereng. Analisis deformasi dilakukan terhadap beberapa pasangan citra dengan mempertimbangkan baseline spasial dan temporal guna menjaga kualitas koherensi interferogram. Hasil deformasi selanjutnya diintegrasikan dengan parameter geologi, LULC, dan kelerengan melalui analisis zonasi statistik dan skoring multiparameter untuk menghasilkan peta kestabilan wilayah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi permukaan di WKP Dieng bervariasi secara spasial dan temporal dengan besaran deformasi dominan dalam skala sentimeter. Zona deformasi relatif tinggi umumnya berasosiasi dengan satuan batuan vulkanik muda yang kurang terkonsolidasi, tutupan lahan non-hutan, serta wilayah dengan kemiringan lereng curam. Integrasi seluruh parameter menghasilkan klasifikasi kestabilan wilayah dan mengidentifikasi area yang berpotensi tidak stabil terhadap infrastruktur panas bumi.

Kata kunci: deformasi permukaan, InSAR, panas bumi, kestabilan wilayah, Dieng.

***SURFACE DEFORMATION ANALYSIS USING THE INSAR METHOD TO
ASSESS THE STABILITY OF THE GEOTHERMAL WORKING
AREA OF PT GEO DIPA ENERGI (PERSERO) DIENG UNIT***

ARIC ARADHANA OKTAVIAN

Departement of Geological Engineering

ABSTRACT

The Dieng Geothermal Working Area (GWA) is an active geothermal field developed within a volcanic environment characterized by complex geology and steep topography. These conditions make the area susceptible to surface deformation in the form of subsidence and uplift, which may be influenced by volcanic activity, lithological characteristics, and geothermal production. Surface deformation may affect regional stability and pose risks to geothermal infrastructure, particularly steam pipelines and surface facilities. This study aims to analyze annual surface deformation in the Dieng GWA during the period 2020–2025 using the Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method based on Sentinel-1 Level-1 SLC data, and to investigate its relationship with geological conditions, land use land cover (LULC), and slope. Surface deformation was analyzed using multiple interferogram pairs with controlled spatial and temporal baselines to ensure data coherence. The deformation results were then integrated with geological, LULC, and slope parameters through statistical zonation and multiparameter scoring to produce a regional stability map. The results show that surface deformation in the Dieng GWA exhibits spatial and temporal variability, with dominant deformation values at the centimeter scale. Areas with relatively high deformation are generally associated with unconsolidated young volcanic deposits, non-forested land cover, and steep slope zones. The integration of all parameters enables the classification of regional stability and the identification of potentially unstable areas that may affect geothermal infrastructure.

Keywords: surface deformation, InSAR, Two-Pass DInSAR, geothermal, regional stability, Dieng GWA.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Allhamdulillah kita ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Analisis Deformasi Permukaan Menggunakan Metode InSAR untuk Menilai Stabilitas Wilayah Kerja Panas Bumi PT Geo Dipa Energi (Persero) Unit Dieng”**.

Terimakasih penulis ucapkan kepada Ibu Prof. Ir. H. Husnul Kausarian, B.Sc(Hons), M.Sc, Ph.D selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan laporan ini. Tidak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Budi Prayitno, ST.,MT selaku Kepala Prodi Teknik Geologi Universitas Islam Riau atas segala bantuannya.
2. Bapak/Ibu dosen serta Staff Prodi Teknik Geologi, Universitas Islam Riau atas segala bantuannya.
3. Keluarga yang selalu memberikan dukungan, do’a, motivasi serta semangat dalam menempuh pendidikan.
4. Teman seperjuangan, senior, serta junior yang telah memberikan dukungan.

Pada penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kesalahan dan kekurangan oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritikan dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini, penulis ucapkan terimakasih.

Pekanbaru, 21 Januari 2026
Yang bersangkutan menyatakan,



Aric Aradhana Oktavian
213610833

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PENELITIAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
SARI.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1. 3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
1.7 Jadwal Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	7
2.2 Deformasi Permukaan.....	9
2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Deformasi Permukaan.....	9
2.3 Prinsip Kerja <i>InSAR</i>	10

2.3.1 Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)	11
2.3.2 Sentinel-1 Level-1 SLC (<i>single look complex</i>)	12
2.4 Konsep Geometri InSAR	13
2.4.1 Line of Sight (LOS)	14
2.4.2 Baseline	15
2.4.3 Displacement	16
2.5 Land Use Land Cover (LULC)	17
2.6 Kemiringan Lereng	20
2.9 Sistem Panas Bumi	22
2.10 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Objek Penelitian	24
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian	24
3.3 Perangkat Lunak Yang Digunakan	24
3.3.1 SNAP (Sentinel Application Platform)	25
3.3.2 QGIS (<i>Quantum GIS</i>)	25
3.4 Langkah- Langkah Penelitian	27
3.4.1 Tahap Persiapan	27
3.4.2 Tahap Pengumpulan Data	27
3.4.3 Tahap Analisis Data	30
3.5 Alur Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2020	40
4.1.1 Deformasi Permukaan Periode 9 Januari 2020 – 13 Juni 2020	40

4.1.2 Deformasi Permukaan Periode 13 Juni 2020 – 10 Desember 2020.....	42
4.2 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2021.....	44
4.2.1 Deformasi Permukaan Periode 8 Februari 2021 – 3 Mei 2021.....	44
4.2.2 Deformasi Permukaan Periode 3 Mei 2021 – 17 Desember 2021	46
4.3 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2022.....	48
4.3.1 Deformasi Permukaan Periode 10 Januari 2022 – 12 Desember 2022	48
4.4 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2023.....	50
4.4.1 Deformasi Permukaan Periode 11 April 2023 – 5 Mei 2023	50
4.4.2 Deformasi Permukaan Periode 16 Juli 2023 – 28 Juli 2023	52
4.4.3 Deformasi Permukaan Periode 26 September 2023 – 20 Oktober 2023	54
4.5 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2024.....	56
4.5.1 Deformasi Permukaan Periode 12 Januari 2024 – 17 Februari 2024...	56
4.5.2 Deformasi Permukaan Periode 10 Juli 2024 – 22 Juli 2024	58
4.5.3 Deformasi Permukaan Periode 20 September 2024 – 14 Oktober 2024	60
4.6 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2025.....	62
4.6.1 Deformasi Permukaan Periode 30 Januari 2025 – 11 Februari 2025...	62
4.6.2 Deformasi Permukaan Periode 18 Mei 2025 – 30 Mei 2025.....	64
4.6.3 Deformasi Permukaan Periode 2 November 2025 – 14 November 2025	66
4.7 Rata-Rata Deformasi Permukaan Berdasarkan 14 Interferogram.....	68
4.8 Analisis Korelasi Geologi Terhadap Deformasi Permukaan.....	70
4.10 Korelasi Deformasi Permukaan dengan Kelerengan	76
4.11 Analisis Kestabilan Wilayah Berdasarkan Integrasi Parameter	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	85

5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Administrasi Lokasi Penelitian	5
Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian	8
Gambar 2. 3 Prinsip Kerja InSAR	11
Gambar 2. 4 Konsep Line Of Sight (LOS)	14
Gambar 2. 5 Konsep Baseline Sentinel-1	16
Gambar 2. 6 Konsep Displacement InSAR	17
Gambar 2. 7 Peta Tutupan Lahan Lokasi Penelitian	19
Gambar 2. 8 Peta Kelerengan Lokasi Penelitian	21
Gambar 3. 1 Software SNAP (Sentinel Application Platform)	25
Gambar 3. 3 Software QGIS	26
Gambar 3. 4 Software Google Earth	26
Gambar 3. 5 Alur Pemrosesan InSAR	32
Gambar 3. 6 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4. 1 Peta Deformasi 9 Januari 2020 – 13 Juni 2020	41
Gambar 4. 2 Peta Deformasi 13 Juni 2020 – 10 Desember 2020	43
Gambar 4. 3 Peta Deformasi 8 Februari 2021 – 3 Mei 2021	45
Gambar 4. 4 Peta Deformasi 3 Mei 2021 – 17 Desember 2021	47
Gambar 4. 5 Peta Deformasi 10 Januari 2022 – 12 Desember 2022	49
Gambar 4. 6 Peta Deformasi 11 April 2023 – 5 Mei 2023	51
Gambar 4. 7 Peta Deformasi 16 Juli 2023 – 28 Juli 2023	53
Gambar 4. 8 Peta Deformasi 26 September 2023 – 20 Oktober 2023	55
Gambar 4. 9 Peta Deformasi 12 Januari 2024 – 17 Februari 2024	57
Gambar 4. 10 Peta Deformasi 10 Juli 2024 – 22 Juli 2024	59
Gambar 4. 11 Peta Deformasi 20 September 2024 – 14 Oktober 2024	61
Gambar 4. 12 Peta Deformasi 30 Januari 2025 – 11 Februari 2025	63
Gambar 4. 13 Peta Deformasi 18 Mei 2025 – 30 Mei 2025	65
Gambar 4. 14 Peta Deformasi 2 November 2025 – 14 November 2025	67
Gambar 4. 15 Peta Rata Rata Deformasi	69
Gambar 4. 16 Peta Zona Statistik Korelasi Geologi	72
Gambar 4. 17 Peta Zona Statistik Korelasi Tutupan Lahan	75

Gambar 4. 18 Peta Zona Statistik Korelasi Kelerengan 78

Gambar 4. 19 Peta Kestabilan Wilayah Kerja Panas Bumi..... 84



DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jadwal Penelitian	6
Tabel 3. 1 Kelas Kestabilan	35
Tabel 4. 1 Tabel Akuisisi Citra	38
Tabel 4. 2 Hasil Zona Statistik Parameter Geologi	70
Tabel 4. 3 Zona Statistik Parameter Tutupan Lahan.....	73
Tabel 4. 4 Zona Statistik Korelasi Parameter Kelerengan.....	77
Tabel 4. 5 Skoring Parameter Deformasi.....	79
Tabel 4. 6 Skoring Parameter Geologi.....	80
Tabel 4. 7 Skoring Parameter Tutupan Lahan	80
Tabel 4. 8 Skoring Parameter Kelerengan	81
Tabel 4. 9 Skoring Multiparameter.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar, dengan total cadangan mencapai sekitar 23,7 GW yang tersebar di sepanjang jalur Cincin Api Pasifik (Yudha dkk., 2022). Energi panas bumi menjadi salah satu pilar utama dalam pencapaian target bauran energi nasional, di mana energi terbarukan ditetapkan sebesar 23% pada tahun 2025 (Nurwahyudin & Harmoko, 2020). Salah satu wilayah pengembangan utama adalah Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng di Jawa Tengah, yang memanfaatkan sistem panas bumi aktif melalui sumur produksi, jaringan pipa, dan pembangkit listrik. Namun, pengembangan panas bumi juga menghadapi tantangan geoteknik, khususnya deformasi permukaan berupa penurunan (*subsidence*) dan pengangkatan (*uplift*), yang dapat dipicu oleh ekstraksi fluida reservoir, perubahan tekanan bawah permukaan, serta kondisi geologi setempat (Suhadha dkk., 2025). Dampak deformasi tersebut dapat mengganggu stabilitas infrastruktur, termasuk jaringan pipa panas bumi dan potensi longsor pada lereng curam.

Kawasan Dieng memiliki kondisi geologi yang kompleks, terdiri atas litologi vulkanik muda, patahan aktif, dan topografi terjal, yang menjadikannya rentan terhadap deformasi baik alami akibat aktivitas vulkanik maupun yang dipicu oleh produksi (Ramadhan dkk., 2013). Selain faktor geologi, penggunaan lahan (*land use land cover*) LULC turut memengaruhi tingkat kerentanan deformasi, di mana area sawah dan permukiman pada material aluvial lebih mudah mengalami penurunan dibanding batuan keras. Kelerengan (*slope*) juga berperan penting, karena kombinasi antara kemiringan tinggi dan deformasi besar dapat meningkatkan risiko longsor.

Pemantauan deformasi secara konvensional, seperti menggunakan GPS dan leveling, memiliki keterbatasan dalam hal cakupan dan biaya. Sebagai alternatif,

penginderaan jauh berbasis *Synthetic Aperture Radar (SAR)*, khususnya teknik *Interferometric SAR (InSAR)*, mampu mendeteksi deformasi dengan akurasi tingkat sentimeter dan cakupan area yang luas (Suhadha dkk., 2025). Data citra Sentinel-1 yang tersedia secara gratis memungkinkan analisis deformasi permukaan secara periodik dan berkelanjutan di wilayah panas bumi aktif seperti Dieng.

Dalam penelitian ini digunakan metode *Two-Pass Differential InSAR (DInSAR)*, *Two-Pass Differential InSAR (DInSAR)* merupakan teknik pemantauan deformasi yang efektif karena mampu menghasilkan peta pergeseran permukaan dengan ketelitian tinggi menggunakan hanya dua citra radar yang diambil pada waktu berbeda. Metode ini unggul dari sisi kesederhanaan alur pengolahan, efisiensi komputasi, serta kecepatan dalam memperoleh hasil analisis. Dengan memanfaatkan data radar satelit seperti Sentinel-1, *Two-Pass DInSAR* dapat diaplikasikan secara luas untuk memantau deformasi tahunan, sehingga sangat relevan untuk studi kestabilan wilayah dan pengelolaan wilayah panas bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dijawab pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pola deformasi permukaan tahunan dan rata – rata di WKP Dieng pada periode 2020–2025 berdasarkan metode Two-Pass DInSAR?
2. Bagaimana hubungan deformasi dengan faktor geologi, penggunaan lahan, dan kelerengan?
3. Bagaimana Tingkat kestabilan wilayah kerja panas bumi dan integrasinya dengan semua parameter?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun beberapa tujuan yang harus diicapai pada penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis deformasi permukaan tahunan dan rata rata periode 2020–2025 menggunakan metode Two-Pass DInSAR.
2. Mengkaji keterkaitan deformasi dengan faktor geologi, penggunaan lahan, dan kelerengan.

3. Mengidentifikasi Tingkat kestabilan wilayah kerja panas bumi dan integrasinya dengan semua parameter

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada analisis deformasi permukaan menggunakan metode *Two-Pass Differential InSAR* dengan data citra Sentinel-1 periode 2020–2025. Faktor yang dianalisis difokuskan pada kondisi geologi, penggunaan lahan, dan kelerengan tanpa membahas aspek reservoir bawah permukaan. Wilayah kajian hanya mencakup WKP Panas Bumi Dieng beserta jalur pipa distribusi uap sebagai infrastruktur utama yang diamati. Analisis dilakukan secara spasial.

1.5 Manfaat Penelitian

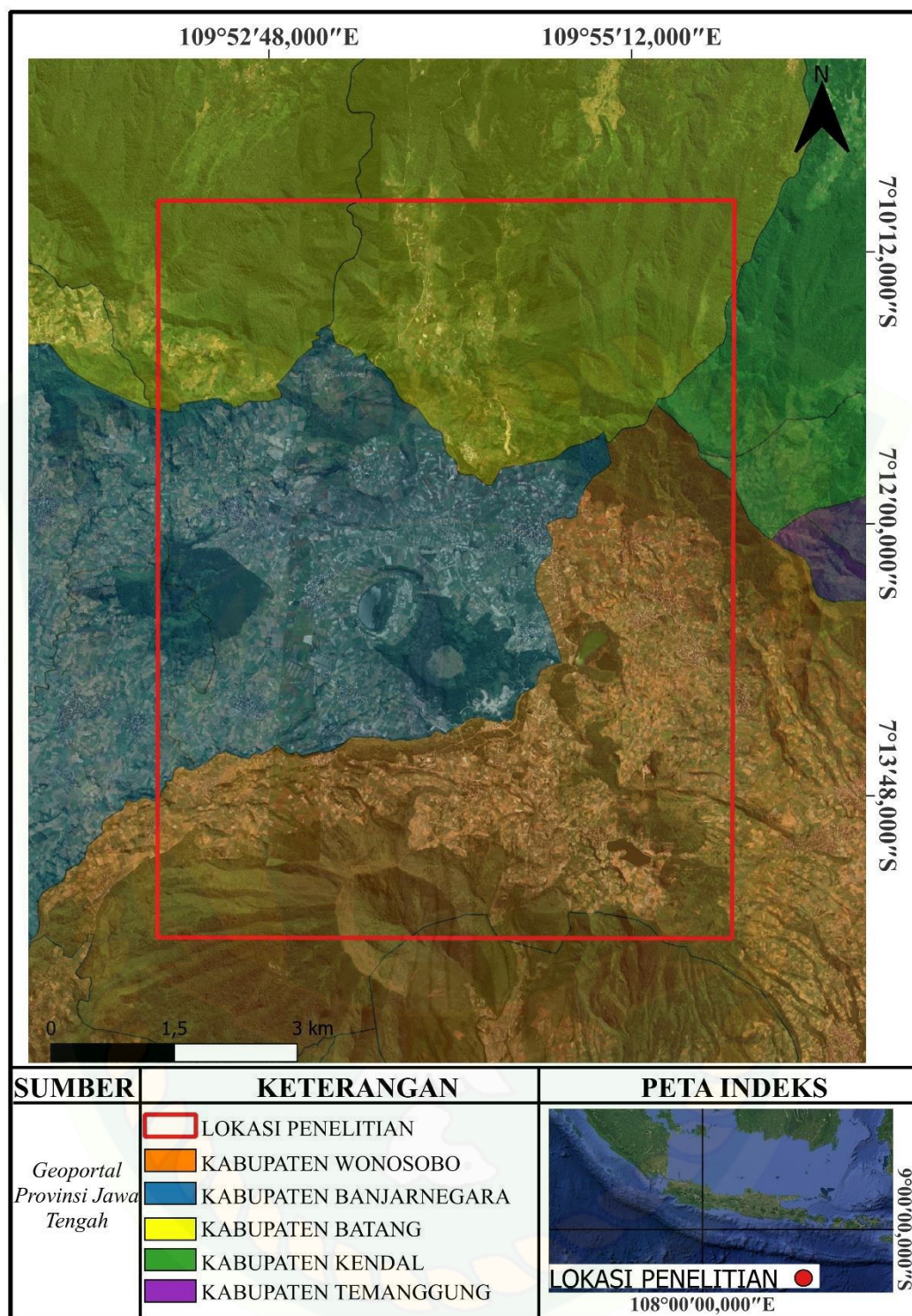
Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini di berbagai aspek baik itu Aspek Keilmuan, Aspek Pemerintah, dan Perusahaan/Industri Panas Bumi diantaranya:

1. Bagi Keilmuan
 - Menambah referensi mengenai penerapan metode InSAR, khususnya Two-Pass DInSAR, dalam kajian deformasi pada wilayah kerja panas bumi di Indonesia Bagi instansi dan Masyarakat
 - Memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian geospasial berbasis integrasi deformasi dengan faktor geologi, LULC (Tutupan lahan / Land use, Land cover), dan kelerengan.
2. Bagi Perusahaan/Industri Panas Bumi
 - Menyediakan informasi spasial terkait area deformasi di WKP Dieng sebagai dasar dalam monitoring dan evaluasi jalur pipa agar tetap aman dan stabil
 - Memberikan rekomendasi teknis dalam mendukung ekspansi pengembangan lapangan panas bumi secara lebih aman dan berkelanjutan
3. Bagi Pemerintah
 - Mendukung upaya mitigasi risiko bencana geologi, khususnya terkait penurunan tanah dan potensi longsor pada kawasan Dieng. Menjadi

masukannya bagi perencanaan tata ruang dan pengelolaan lingkungan berbasis energi terbarukan

1.6 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng yang meliputi sebagian wilayah administratif Kabupaten Banjarnegara, Kabupaten Wonosobo, Kabupaten Kendal, dan Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah. Pada daerah tersebut terdapat infrastruktur utama panas bumi seperti sumur produksi, jalur pipa penyalur uap, serta unit pembangkit listrik tenaga panas bumi yang menjadi fokus pengamatan. Secara geografis, daerah penelitian berada pada koordinat sekitar 109°54'–109°57' BT dan 7°11'–7°15' LS. Kesampaian daerah penelitian dari Kota Pekanbaru dapat ditempuh melalui transportasi udara menuju Bandara Internasional Yogyakarta atau Bandara Jenderal Ahmad Yani Semarang, kemudian dilanjutkan dengan perjalanan darat menuju kawasan Dieng dengan total jarak sekitar ±1.200 km dan waktu tempuh keseluruhan sekitar 6–8 jam, tergantung rute dan kondisi perjalanan. Medan lokasi penelitian berupa kawasan pegunungan vulkanik dengan topografi bergelombang hingga curam. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1 Peta Administrasi Daerah Penelitian.



Gambar 1. 1 Peta Administrasi Lokasi Penelitian

1.7 Jadwal Penelitian

Penelitian dimulai pada Agustus 2025 melalui identifikasi masalah dan studi literatur. Pada September–November 2025, kegiatan difokuskan pada penyusunan proposal yang kemudian dipresentasikan dalam seminar proposal pada Desember 2025. Setelah disetujui, tahap pengumpulan data (Sentinel-1, DEM, dan peta tematik) dilakukan pada Desember 2025, disertai proses pengolahan data InSAR. Analisis zona statistik yang mencakup geologi, tutupan lahan, dan lereng dilaksanakan pada Desember 2025 hingga Januari 2026. Tahap intersect kestabilan dan pembuatan peta dilakukan pada Januari 2026 hingga Maret 2026, kemudian penyusunan laporan akhir dan seminar hasil skripsi diselesaikan pada April 2026.

Tabel 1. 1 Jadwal Penelitian

NO	KETERANGAN	2025					2026			
		AGUS	SEPT	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR
1	Identifikasi Masalah & Studi Literatur									
2	Pembuatan Proposal									
3	Seminar Proposal									
4	Pengumpulan Data (Sentinel-1, DEM, Peta)									
5	Pengolahan Data InSAR (DInSAR)									
6	Analisis Zona Statistik (Geologi, LULC, Lereng)									
7	Intersect Kestabilan & Pembuatan Peta									
8	Penyusunan Laporan Akhir									
9	Seminar Hasil Skripsi									

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

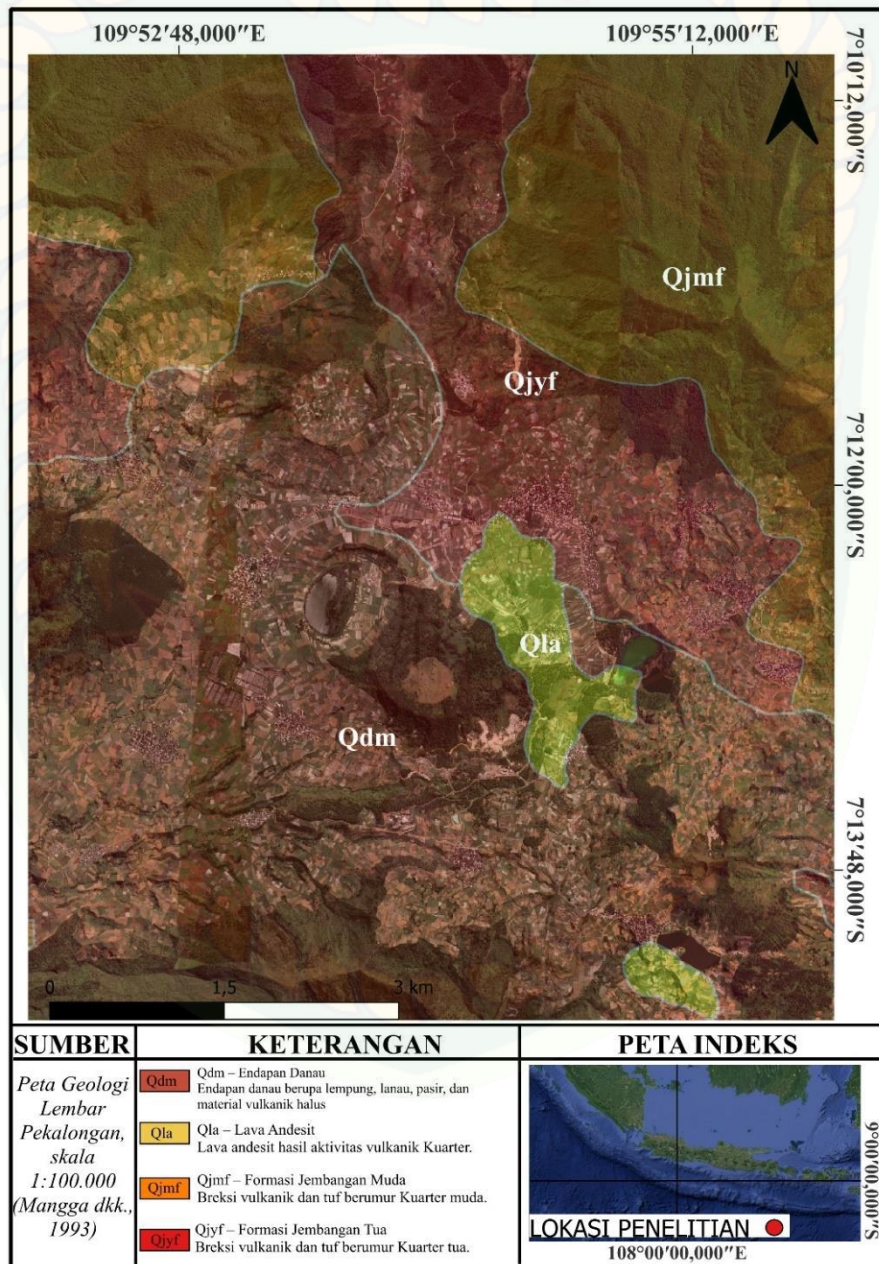
Daerah penelitian berada pada Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah, yang merupakan bagian dari Kompleks Vulkanik Dieng dan termasuk sistem vulkanik Kuartar aktif. Kompleks ini terbentuk akibat aktivitas vulkanisme berulang sejak Pleistosen hingga Holosen yang menghasilkan kaldera, kubah lava, kawah, serta berbagai manifestasi panas bumi di permukaan. Aktivitas magmatik dan tektonik tersebut menjadikan kawasan Dieng memiliki kondisi geologi yang kompleks dan dinamis, serta berpengaruh terhadap kestabilan permukaan (Harijoko dkk., 2016).

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pekalongan skala 1:100.000, satuan batuan di daerah penelitian didominasi oleh produk vulkanik Kuartar yang terdiri atas endapan danau, lava, serta satuan piroklastik dengan umur relatif berbeda (Damiano dkk., 2023). Satuan termuda adalah Qdm (Endapan Danau) yang tersusun oleh lempung, lanau, pasir, dan material vulkanik halus hasil pengendapan di lingkungan danau purba Dieng. Satuan ini bersifat lepas, belum terkonsolidasi dengan baik, dan relatif rentan terhadap deformasi permukaan.

Satuan Qla (Lava Andesit) merupakan produk erupsi efusif yang membentuk lava masif dan kompak dengan kekuatan mekanik relatif tinggi. Dibandingkan satuan piroklastik, lava andesit cenderung lebih stabil, meskipun rekahan dan struktur pendinginan dapat berperan sebagai jalur migrasi fluida panas bumi. Selanjutnya, satuan Qjmf (Formasi Jembangan Muda) tersusun oleh breksi vulkanik dan tuf hasil erupsi eksplosif yang relatif muda dan kurang terkonsolidasi, sehingga lebih rentan terhadap deformasi dan gerakan tanah, terutama pada daerah dengan kemiringan lereng curam (Suhendro dkk., 2022).

Satuan Qjyf (Formasi Jembangan Tua) merupakan produk vulkanik yang lebih tua dan telah mengalami tingkat konsolidasi lebih baik dibandingkan Qjmf. Litologi penyusunnya berupa breksi vulkanik dan tuf yang lebih terkompaksi, sehingga secara umum memiliki kestabilan relatif lebih tinggi. Namun demikian, deformasi permukaan masih berpotensi terjadi pada zona yang dipengaruhi oleh

struktur geologi seperti sesar dan rekahan, yang juga berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal pada sistem panas bumi Dieng (Maghsoudi dkk., 2018). Variasi umur dan karakteristik litologi satuan batuan ini berperan penting dalam mengontrol pola deformasi permukaan serta kestabilan Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng. Regional ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian



Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian

2.2 Deformasi Permukaan

Deformasi permukaan merupakan perubahan posisi atau bentuk muka bumi yang terjadi akibat proses alami maupun aktivitas manusia. Perubahan ini dapat bersifat vertikal maupun horizontal, mencakup penurunan (*subsidence*), pengangkatan (*uplift*), maupun pergeseran lateral. Secara umum, deformasi dapat berlangsung secara lambat (*slow deformation*) yang terakumulasi dalam jangka panjang, maupun secara cepat (*sudden deformation*) seperti pada peristiwa gempa bumi atau letusan gunung api (Chaussard dkk., 2017). Dalam konteks geologi, deformasi permukaan sering dikaitkan dengan dinamika tektonik, aktivitas vulkanik, serta kondisi geomekanik batuan. Misalnya, penurunan muka tanah banyak dijumpai pada wilayah cekungan sedimen akibat eksploitasi air tanah atau sumber daya panas bumi, sementara uplift sering terjadi di daerah vulkanik akibat akumulasi tekanan magma atau fluida hidrotermal. Di sisi lain, deformasi lateral umum ditemukan pada zona sesar aktif, yang dapat menggeser permukaan tanah secara horizontal.

Untuk memahami dan memantau deformasi permukaan, berbagai metode telah dikembangkan. Metode konvensional seperti pengukuran leveling, tilt meter, atau GPS memberikan hasil akurat namun terbatas dari segi cakupan spasial dan biaya operasional yang relatif tinggi. Perkembangan teknologi penginderaan jauh, khususnya *Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)*, memungkinkan pemantauan deformasi secara lebih efisien, luas, dan periodik. Teknologi ini mampu mendeteksi perubahan permukaan dalam skala sentimeter hingga milimeter, sehingga menjadi salah satu metode unggulan dalam kajian deformasi di wilayah vulkanik maupun lapangan panas bumi.

2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Deformasi Permukaan

Deformasi permukaan merupakan hasil interaksi kompleks antara proses geologi alami dan aktivitas manusia. Faktor-faktor yang memengaruhi deformasi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Faktor Geologi Struktur geologi seperti sesar, lipatan, dan rekahan sangat memengaruhi pola deformasi. Aktivitas tektonik dapat menyebabkan

pergeseran horizontal maupun vertikal, sedangkan vulkanisme memicu uplift akibat akumulasi magma atau fluida hidrotermal. Selain itu, sifat litologi dan kekuatan mekanik batuan juga menentukan tingkat kerentanan terhadap deformasi (Mazzanti dkk., 2015).

- Faktor Lingkungan dan Topografi Kondisi topografi, kelerengan, serta drainase alami turut memengaruhi tingkat deformasi. Lahan dengan kemiringan curam lebih rentan mengalami longsor atau pergerakan tanah, sementara daerah dengan litologi lemah seperti batuan lempung lebih mudah mengalami kompaksi.
- Faktor Penggunaan Lahan (Land Use Land Cover / LULC) Perubahan tata guna lahan dari hutan menjadi lahan terbangun dapat meningkatkan beban permukaan dan mengurangi daya dukung tanah. Pemanfaatan ruang yang tidak sesuai dengan kondisi geologi dan topografi memperbesar risiko deformasi, khususnya pada kawasan yang telah mengalami tekanan antropogenik tinggi .

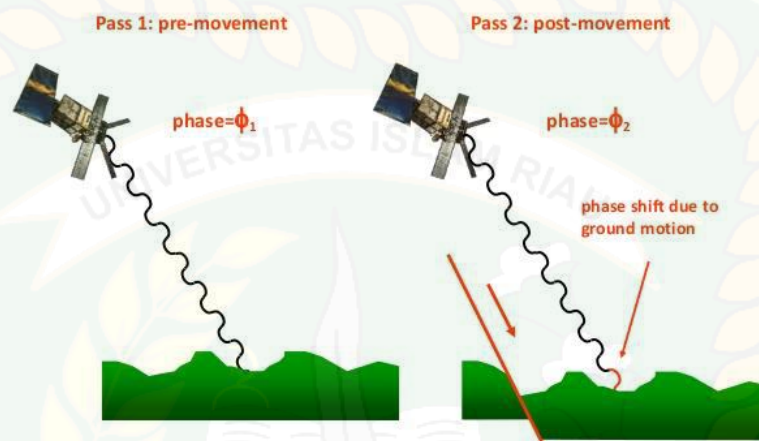
Dengan demikian, deformasi permukaan tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi faktor geologi, kemiringan lereng dan penggunaan lahan. Pemahaman terhadap faktor-faktor ini sangat penting untuk melakukan analisis spasial yang komprehensif, terutama di kawasan rawan seperti WKP Panas Bumi Dieng

2.3 Prinsip Kerja *InSAR*

InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) bekerja dengan memanfaatkan perbedaan fase gelombang radar dari dua citra radar (biasanya dari satelit seperti Sentinel-1) yang diambil pada waktu berbeda dari posisi orbit yang hampir sama. Perbedaan fase ini kemudian diolah menjadi interferogram yang menggambarkan perubahan ketinggian atau perpindahan permukaan bumi (Sansosti dkk., 2015). Perubahan fase sinyal radar berkaitan langsung dengan pergerakan tanah dalam arah garis pandang satelit (Line of Sight/LOS). Dengan kalibrasi dan koreksi topografi, atmosfer, serta noise, *InSAR* mampu mengukur deformasi permukaan dalam skala milimeter (Li dkk., 2015). Teknologi ini sangat

unggul karena tidak memerlukan pengukuran lapangan secara langsung, namun tetap dapat menghasilkan data spasial yang sangat presisi dan berkala.

InSAR: How it works



Gambar 2. 2 Prinsip Kerja InSAR

2.3.1 Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

Metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* merupakan salah satu teknik pengolahan citra radar yang digunakan untuk mendeteksi perubahan permukaan bumi melalui perbedaan fase gelombang radar antara dua citra SAR yang diambil pada waktu berbeda. Metode ini termasuk dalam kategori repeat-pass interferometry, di mana citra referensi dan citra yang diamati diperoleh dari lintasan satelit yang sama namun pada tanggal akuisisi berbeda (Vassileva dkk., 2017). Secara umum, prinsip dasar *Two-Pass DInSAR* adalah mengurangi komponen topografi pada interferogram dengan memanfaatkan *Digital Elevation Model (DEM)*. Tahap pertama adalah melakukan co-registration atau penyelarasan citra, kemudian membentuk interferogram dari perbedaan fase antara citra master dan slave. Setelah itu, efek topografi dikurangi dengan menggunakan DEM, sehingga yang tersisa pada interferogram adalah komponen deformasi, atmosfer, dan noise (Tao dkk., 2017). Dengan demikian, *Two-Pass*

DInSAR memungkinkan pengukuran deformasi permukaan dengan ketelitian hingga skala sentimeter hingga milimeter.

Metode ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain mampu mencakup area luas, akuisisi data yang konsisten (misalnya Sentinel-1 dengan periode ulang 6–12 hari), serta biaya relatif rendah dibandingkan metode pengukuran geodetik konvensional. Namun, keterbatasannya terletak pada sensitivitas terhadap kondisi atmosfer, vegetasi lebat, dan dekorelasi temporal, terutama bila jarak waktu antar citra terlalu panjang (Crosetto dkk., 2016). Dalam konteks panas bumi, Two-Pass DInSAR telah banyak digunakan untuk memantau subsidensi akibat ekstraksi fluida, uplift akibat injeksi, serta perubahan morfologi yang berhubungan dengan aktivitas vulkanik (Chaussard dkk., 2017). Oleh karena itu, metode ini relevan digunakan untuk mendeteksi deformasi tahunan di WKP Panas Bumi Dieng, sekaligus mengevaluasi potensi risiko terhadap infrastruktur jalur pipa dan kestabilan wilayah sekitarnya.

2.3.2 Sentinel-1 Level-1 SLC (*single look complex*)

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sentinel-1, yaitu satelit radar yang merupakan bagian dari program Copernicus milik European Space Agency (ESA). Sentinel-1 beroperasi menggunakan C-band Synthetic Aperture Radar (SAR) dengan frekuensi sekitar 5,405 GHz (panjang gelombang $\pm 5,6$ cm), yang mampu merekam permukaan bumi secara aktif tanpa bergantung pada kondisi cuaca maupun pencahayaan matahari. Kemampuan ini menjadikan Sentinel-1 ideal untuk pemantauan deformasi, pergeseran tanah, dan perubahan morfologi permukaan secara kontinu.

Produk yang digunakan dalam penelitian ini adalah Level-1 Single Look Complex (SLC), yaitu data radar yang menyimpan informasi amplitudo dan fase kompleks dari sinyal pantulan radar. Informasi fase ini penting dalam analisis *Interferometric SAR (InSAR)* karena memungkinkan deteksi perubahan posisi permukaan dengan ketelitian tinggi, hingga pada skala milimeter. Data Level-1 SLC telah melalui proses kalibrasi radiometrik dan fokus, tetapi belum dikoreksi secara geometrik terhadap topografi, sehingga tetap mempertahankan informasi

fase mentah yang dibutuhkan untuk analisis interferometri. Citra Sentinel-1 diunduh melalui *Alaska Satellite Facility (ASF) Distributed Active Archive Center (DAAC)*, yang menyediakan akses terbuka terhadap arsip data Sentinel-1A dan Sentinel-1B dengan berbagai mode perekaman, termasuk *Interferometric Wide Swath (IW)*. Mode IW menggunakan teknik *Terrain Observation with Progressive Scans (TOPS)* dengan cakupan sekitar 250 km dan resolusi spasial 5×20 meter (range $\times$ azimuth), sehingga efektif untuk pemantauan deformasi dalam skala regional.

Selain itu, penggunaan data Sentinel-1 *SLC* melalui ASF memiliki keuntungan dari sisi akurasi orbit dan ketersediaan data yang konsisten. ASF menyediakan pembaruan file orbit presisi (*Precise Orbit Ephemerides*) yang diperlukan untuk meningkatkan akurasi geometrik citra dalam proses interferometri. Kombinasi antara ketersediaan data jangka panjang, konsistensi temporal, serta kemampuan sensor C-band dalam menembus awan menjadikan Sentinel-1 sebagai sumber utama dalam analisis deformasi berbasis radar di berbagai bidang, termasuk monitoring geotektonik, kestabilan lereng, dan subsiden tanah (Torres dkk., 2012)

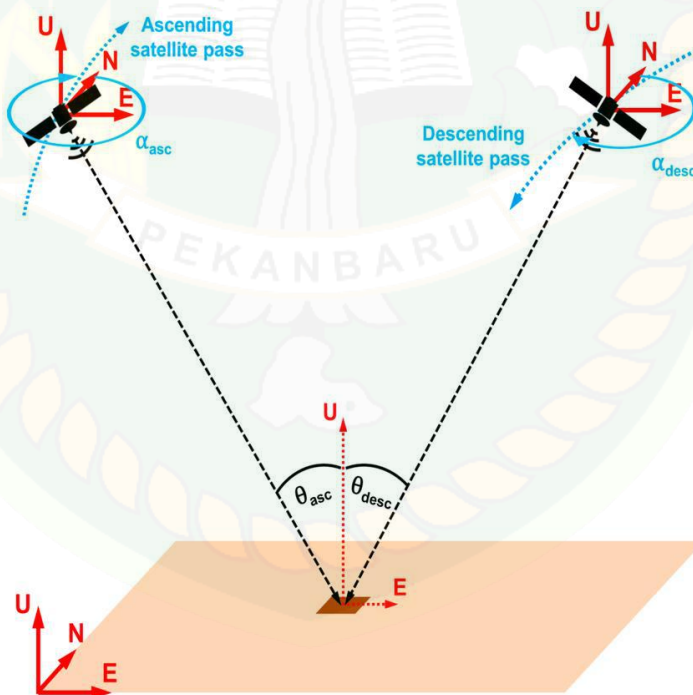
2.4 Konsep Geometri InSAR

Analisis deformasi permukaan menggunakan metode Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) didasarkan pada perbedaan fase sinyal radar yang dipengaruhi oleh geometri akuisisi data satelit. Geometri InSAR mengontrol bagaimana perubahan posisi permukaan bumi direkam dan diinterpretasikan sebagai deformasi. Oleh karena itu, pemahaman konsep geometri menjadi penting agar hasil pengukuran deformasi dapat ditafsirkan secara tepat, khususnya pada wilayah dengan topografi kompleks dan aktivitas vulkanik seperti Dataran Tinggi Dieng. Dalam konteks ini, parameter utama geometri InSAR yang berperan langsung dalam analisis deformasi meliputi Line of Sight (LOS), baseline, dan displacement, yang masing-masing menentukan arah, sensitivitas, serta besaran deformasi yang terukur oleh sistem radar.

2.4.1 Line of Sight (LOS)

Dalam analisis Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), deformasi permukaan tidak diukur sebagai pergerakan vertikal atau horizontal absolut, melainkan sebagai perubahan jarak antara sensor radar dan permukaan bumi sepanjang arah Line of Sight (LOS). LOS merupakan arah pandang radar dari satelit menuju target di permukaan bumi, sehingga hanya komponen pergerakan yang sejajar dengan arah ini yang dapat terdeteksi.

Perubahan jarak sepanjang LOS terekam sebagai perubahan fase sinyal radar antara dua waktu akuisisi yang berbeda. Nilai deformasi positif menunjukkan pergerakan permukaan mendekati satelit, sedangkan nilai negatif menunjukkan pergerakan menjauhi satelit. Karena sifat pengukuran yang berbasis LOS, hasil deformasi InSAR merupakan proyeksi dari pergerakan sebenarnya, sehingga interpretasi deformasi harus mempertimbangkan geometri orbit dan sudut datang radar, terutama pada daerah dengan topografi kompleks (Crosetto dkk., 2016).

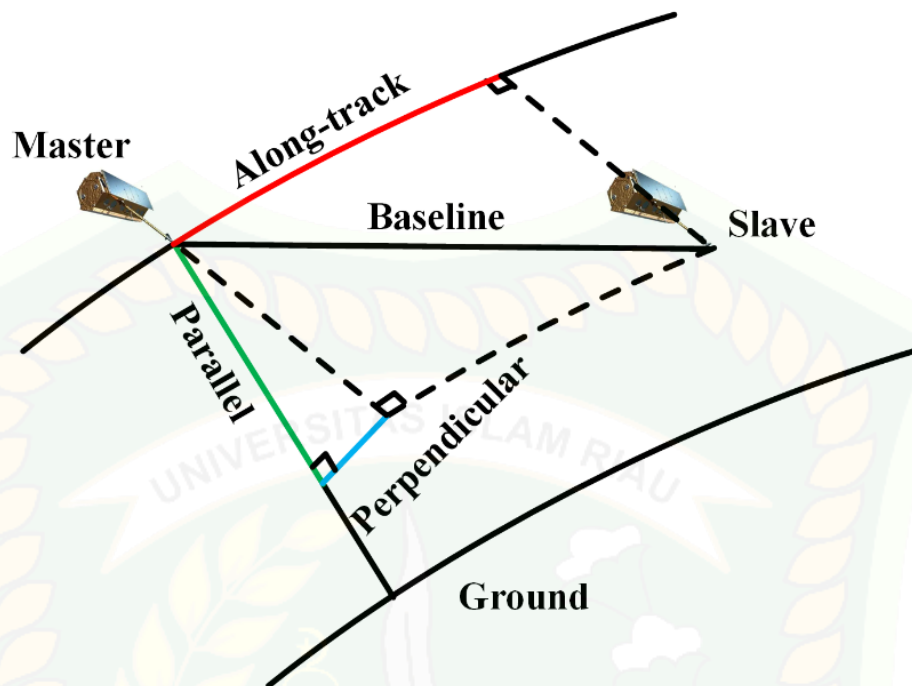


Gambar 2. 3 Konsep *Line Of Sight* (LOS)

2.4.2 Baseline

Baseline merupakan jarak pemisah antara dua posisi satelit pada saat akuisisi citra radar yang digunakan dalam proses interferometri. Dalam analisis InSAR, baseline dibedakan menjadi baseline temporal, yaitu selang waktu antara dua citra radar, dan baseline spasial (perpendicular baseline), yaitu jarak geometrik antar lintasan orbit satelit (Hanssen, 2001). Kedua parameter ini berperan penting dalam menentukan kualitas interferogram, terutama terkait tingkat koherensi fase yang dihasilkan.

Untuk memperoleh interferogram dengan kualitas tinggi dan meminimalkan dekorelasi fase, baseline spasial perlu dijaga pada nilai yang relatif kecil. Pada sistem Sentinel-1, interferogram dengan perpendicular baseline di bawah 50 m dinilai aman karena perbedaan sudut pandang radar antar akuisisi masih sangat kecil, sehingga pengaruh noise geometrik dan sensitivitas terhadap topografi dapat ditekan (Hanssen, 2001). Baseline spasial yang rendah juga berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas fase dan keandalan hasil deformasi, khususnya pada wilayah dengan topografi kompleks dan tutupan vegetasi sedang hingga tinggi. Selain baseline spasial, pemilihan baseline temporal yang tidak terlalu panjang juga diperlukan untuk mengurangi pengaruh perubahan kondisi permukaan dan atmosfer. Kombinasi antara baseline spasial < 50 m dan baseline temporal yang terkendali akan menghasilkan interferogram yang lebih koheren dan representatif dalam menggambarkan deformasi permukaan yang sesungguhnya (Hanssen, 2001). Prinsip ini menjadi dasar dalam pemilihan pasangan citra Sentinel-1 pada penelitian ini agar hasil deformasi berbasis metode Two-Pass DInSAR memiliki tingkat keandalan yang baik.

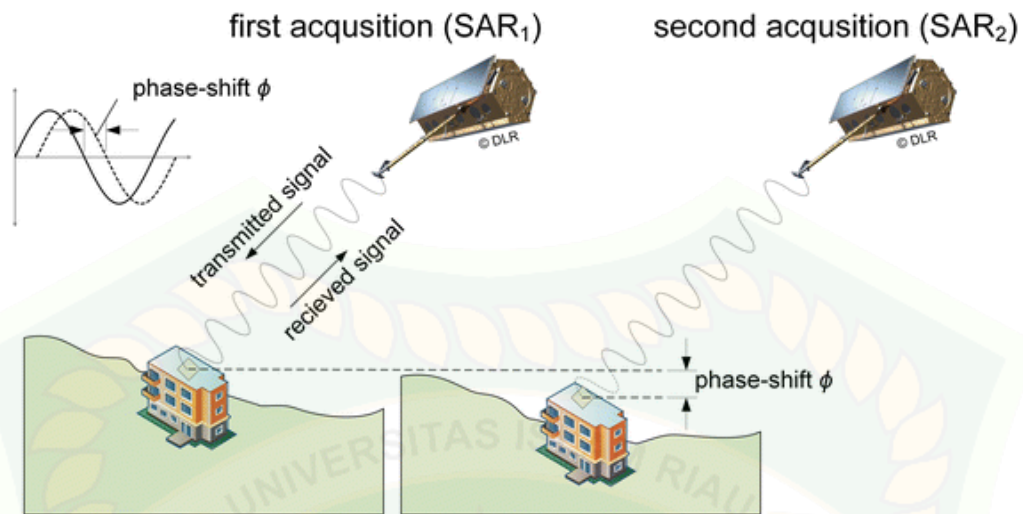


Gambar 2. 4 Konsep *Baseline Sentinel-1*

2.4.3 Displacement

Displacement dalam analisis InSAR merupakan hasil konversi perubahan fase interferometri yang telah melalui tahapan koreksi topografi, filtering, dan unwrapping fase. Perubahan fase sinyal radar tersebut diubah menjadi nilai perpindahan permukaan dengan satuan panjang, seperti sentimeter atau meter, yang merepresentasikan deformasi relatif antara dua waktu pengamatan.

Nilai displacement yang dihasilkan bersifat relatif terhadap citra referensi dan hanya menggambarkan pergerakan sepanjang arah LOS. Dalam analisis multi-temporal, displacement digunakan untuk mengidentifikasi pola subsidensi maupun uplift secara spasial dan temporal. Namun demikian, interpretasi displacement harus mempertimbangkan keterbatasan arah pengukuran InSAR serta kemungkinan pengaruh atmosfer dan dekorelasi sinyal .



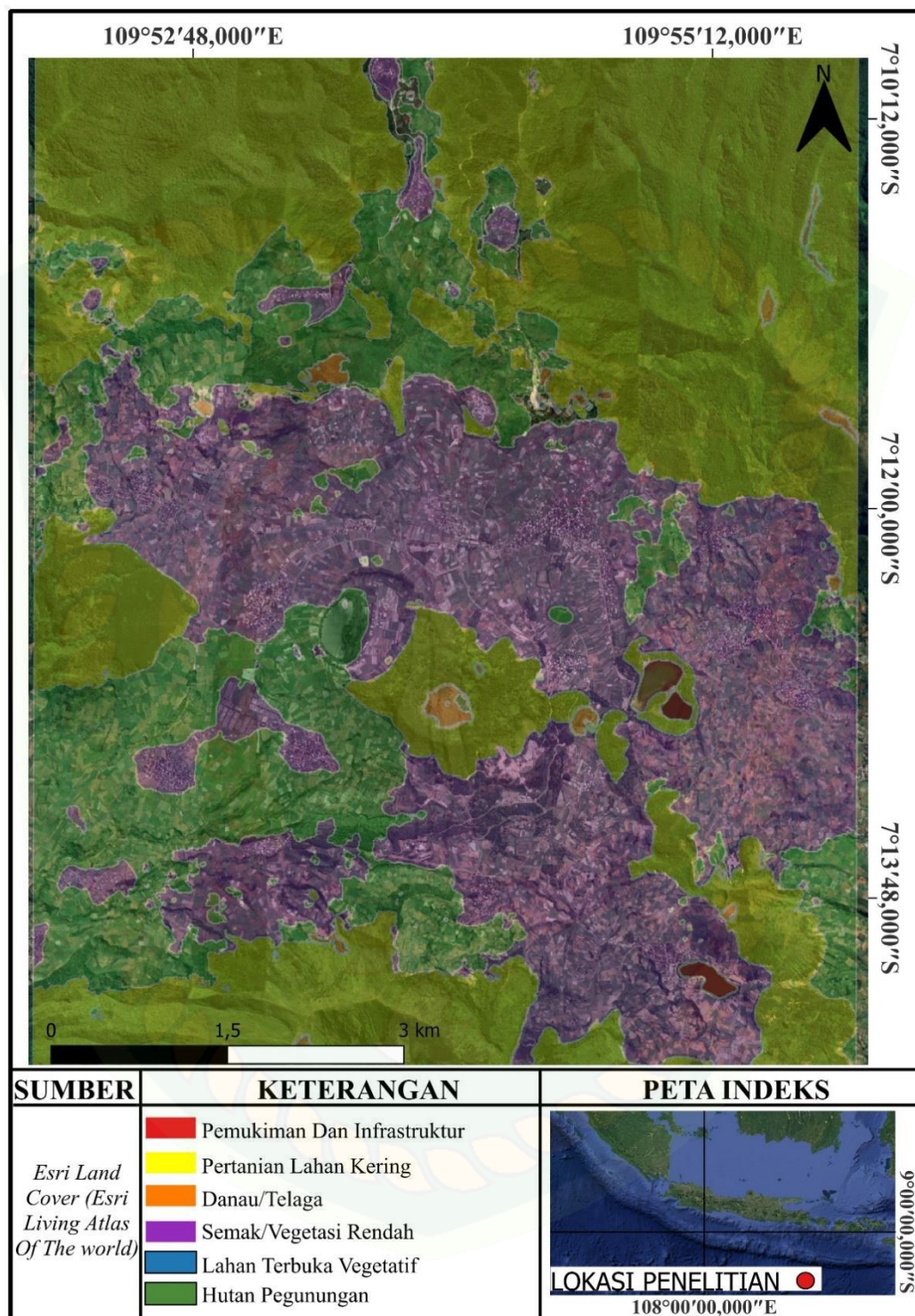
Gambar 2. 5 Konsep *Displacement InSAR*

2.5 Land Use Land Cover (LULC)

Land Use Land Cover (LULC) merupakan representasi kondisi penutup dan pemanfaatan permukaan bumi yang menggambarkan interaksi antara aktivitas manusia dan lingkungan fisik. Land cover mengacu pada tutupan fisik permukaan seperti vegetasi, badan air, tanah terbuka, dan kawasan terbangun, sedangkan land use berkaitan dengan pemanfaatan lahan oleh manusia, seperti permukiman, pertanian, dan kawasan industri. Informasi LULC penting dalam studi kebumihana karena mencerminkan kondisi permukaan yang dapat memengaruhi proses geomorfologi dan geodinamika (Wang dkk., 2023).

Dalam analisis deformasi permukaan berbasis InSAR, LULC berperan sebagai faktor yang memengaruhi kualitas sinyal radar serta interpretasi hasil deformasi. Perbedaan jenis tutupan lahan dapat menyebabkan variasi koherensi interferogram akibat perubahan fisik permukaan, terutama pada wilayah dengan vegetasi lebat atau aktivitas manusia yang tinggi. Area dengan tutupan vegetasi rapat, seperti hutan, umumnya mengalami penurunan koherensi karena perubahan struktur kanopi, sedangkan area terbuka atau terbangun cenderung memiliki koherensi lebih stabil sehingga lebih representatif untuk analisis deformasi (Ferretti dkk., 2011).

Selain memengaruhi kualitas data InSAR, LULC juga berkaitan dengan respons permukaan terhadap deformasi. Kawasan terbangun dan infrastruktur umumnya lebih sensitif terhadap deformasi karena adanya beban tambahan dan perubahan kondisi bawah permukaan, sedangkan lahan pertanian dan tanah terbuka dapat mengalami perubahan volume akibat proses alami seperti konsolidasi tanah dan fluktuasi kadar air. Oleh karena itu, distribusi LULC perlu dipertimbangkan dalam menafsirkan pola deformasi permukaan agar dapat dibedakan antara deformasi yang dipengaruhi faktor alami dan aktivitas manusia (Crosetto dkk., 2016). Dalam penelitian ini, data LULC digunakan sebagai parameter pendukung untuk membantu interpretasi hasil deformasi permukaan berbasis InSAR. Integrasi informasi LULC dengan data deformasi diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi permukaan wilayah penelitian serta mendukung penilaian kestabilan Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng.



Gambar 2. 6 Peta Tutupan Lahan Lokasi Penelitian

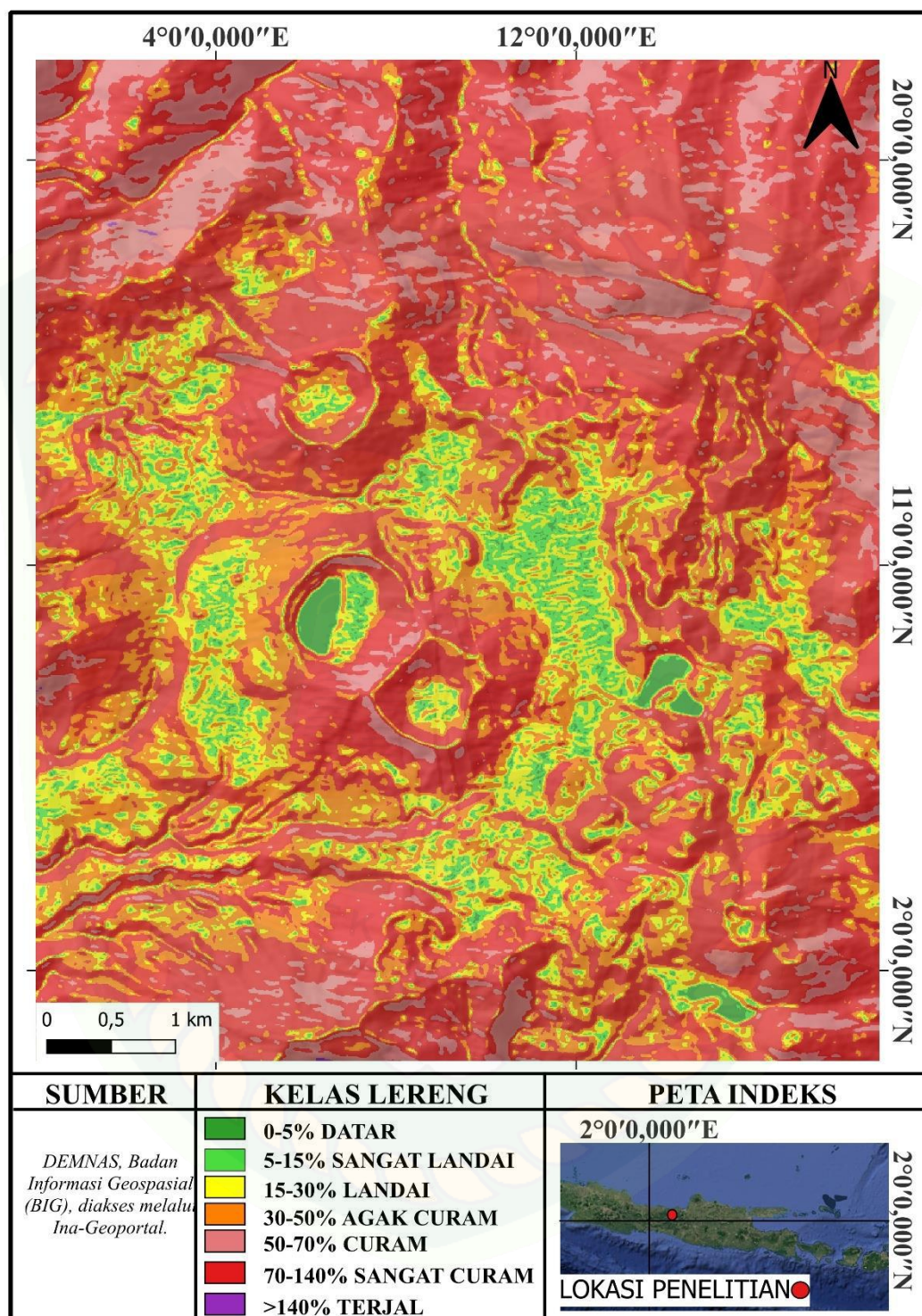
2.6 Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan parameter geomorfologi yang menggambarkan tingkat kecuraman permukaan tanah dan berpengaruh langsung terhadap kestabilan wilayah. Lereng terbentuk sebagai hasil interaksi antara proses endogen, seperti aktivitas tektonik dan vulkanisme, serta proses eksogen berupa pelapukan dan erosi. Pada wilayah vulkanik seperti Dataran Tinggi Dieng, variasi kemiringan lereng umumnya tinggi akibat aktivitas erupsi berulang yang membentuk morfologi pegunungan dengan relief terjal.

Dalam kajian kebumihan, kemiringan lereng sering digunakan sebagai indikator kerentanan terhadap proses deformasi dan gerakan tanah. Lereng dengan kemiringan tinggi memiliki gaya gravitasi yang lebih besar sehingga lebih rentan terhadap ketidakstabilan, terutama apabila tersusun oleh material vulkanik muda yang kurang terkonsolidasi. Kondisi ini dapat diperparah oleh faktor eksternal seperti curah hujan tinggi, pelapukan intensif, serta perubahan kondisi bawah permukaan (Mandal dkk., 2024).

Kemiringan lereng juga memiliki keterkaitan dengan analisis deformasi permukaan berbasis InSAR. Pada lereng curam, arah pergerakan massa tanah cenderung tidak vertikal, sehingga deformasi yang terdeteksi oleh InSAR merupakan proyeksi pergerakan lereng terhadap arah *Line of Sight (LOS)* satelit. Selain itu, kemiringan lereng dapat memengaruhi kualitas sinyal radar akibat efek geometri seperti foreshortening dan layover, yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil deformasi (Hanssen, 2001).

Dalam penelitian ini, peta kemiringan lereng digunakan sebagai parameter pendukung untuk membantu interpretasi pola deformasi permukaan. Integrasi informasi kemiringan lereng dengan hasil deformasi InSAR diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan antara kondisi morfologi dan deformasi permukaan, serta mendukung penilaian kestabilan wilayah kerja panas bumi Dieng.



Gambar 2. 7 Peta Kelerengan Lokasi Penelitian

2.9 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi merupakan sistem hidrotermal alami yang terbentuk akibat interaksi antara sumber panas, fluida, dan batuan reservoir di bawah permukaan bumi. Sumber panas umumnya berasal dari aktivitas magmatik atau sisa panas magma, sedangkan fluida berupa air meteorik yang bersirkulasi melalui rekahan dan pori batuan. Kombinasi ketiga komponen tersebut menghasilkan sistem panas bumi yang dicirikan oleh keberadaan reservoir panas, batuan penutup (cap rock), serta manifestasi panas bumi di permukaan seperti fumarol, mata air panas, dan solfatara (Maghsoudi dkk., 2018).

Berdasarkan mekanisme dan kondisi fluida, sistem panas bumi umumnya diklasifikasikan sebagai sistem hidrotermal dominasi air, dominasi uap, atau sistem campuran. Lapangan panas bumi Dieng termasuk dalam sistem hidrotermal vulkanik yang berkembang pada lingkungan gunung api Kuarter. Sistem ini dikontrol oleh kondisi geologi berupa litologi vulkanik, struktur geologi seperti sesar dan rekahan, serta aktivitas magmatik yang berperan sebagai sumber panas

Dalam sistem panas bumi, perubahan tekanan dan volume fluida di dalam reservoir dapat memengaruhi kondisi mekanik batuan di sekitarnya. Aktivitas produksi dan injeksi fluida panas bumi berpotensi menyebabkan redistribusi tekanan bawah permukaan yang dapat ditransmisikan hingga ke permukaan. Proses tersebut dapat memicu terjadinya deformasi permukaan berupa subsidensi atau uplift, terutama pada wilayah dengan batuan vulkanik muda dan struktur geologi yang berkembang dengan baik (Yudha dkk., 2022)

Oleh karena itu, pemahaman mengenai sistem panas bumi menjadi penting dalam kajian deformasi permukaan. Informasi mengenai karakteristik sistem panas bumi digunakan sebagai konteks pendukung untuk menafsirkan hasil deformasi berbasis InSAR, sehingga deformasi yang terdeteksi dapat dikaitkan dengan dinamika sistem bawah permukaan dan kondisi geologi wilayah penelitian.

2.10 Penelitian Terdahulu

Metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)* telah banyak digunakan untuk menganalisis deformasi permukaan, khususnya pada wilayah vulkanik dan panas bumi, karena kemampuannya mendeteksi pergerakan tanah secara spasial dan temporal dengan ketelitian tinggi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa deformasi permukaan yang terdeteksi oleh InSAR berkaitan erat dengan kondisi geologi dan dinamika sistem bawah permukaan.

(Maghsoudi dkk., 2018) menerapkan metode PS-InSAR pada lapangan panas bumi di Jawa Barat dan menemukan bahwa pola deformasi permukaan berasosiasi dengan struktur geologi dan aktivitas produksi panas bumi. (Chaussard dkk., 2017) menunjukkan bahwa deformasi permukaan hasil InSAR dapat digunakan sebagai indikator dinamika reservoir panas bumi, terutama dalam memantau respon permukaan terhadap perubahan tekanan fluida. Sementara itu, (Hetland dkk., 2012) menekankan pentingnya pemahaman geometri InSAR dan kualitas data dalam memperoleh hasil deformasi yang andal.

Di wilayah Dieng, (Waichel dkk., 2012) mengkaji evolusi magmatik Kompleks Vulkanik Dieng dan hubungannya dengan sistem panas bumi, yang memberikan dasar geologi penting bagi interpretasi deformasi permukaan. Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi studi sebelumnya dengan menganalisis deformasi permukaan berbasis InSAR serta keterkaitannya dengan kondisi geologi dan karakteristik wilayah kerja panas bumi Dieng.

karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi kajian sebelumnya dengan fokus pada analisis deformasi permukaan berbasis InSAR serta keterkaitannya dengan kondisi geologi, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan di wilayah penelitian..

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng, Jawa Tengah. Deformasi yang diamati berupa penurunan maupun pengangkatan tanah dengan metode Two-Pass Differential InSAR menggunakan data Sentinel-1 periode 2020–2025. Selain deformasi, penelitian ini juga meninjau pengaruh faktor geologi, penggunaan lahan (LULC), dan kemiringan lereng terhadap tingkat kestabilan wilayah. Hasilnya diharapkan dapat menjadi acuan bagi perusahaan dalam melakukan ekspansi dan monitoring jalur pipa panas bumi agar tetap stabil.

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam kurun waktu enam bulan, dimulai dari bulan Juli hingga Desember 2025. Tahap awal berupa studi literatur dan penyusunan proposal dilaksanakan pada bulan Juli hingga September, kemudian dilanjutkan dengan seminar proposal pada bulan Oktober. Setelah itu, pengumpulan data, pengolahan data deformasi dengan metode InSAR, analisis spasial, serta pembuatan peta hasil klasifikasi kestabilan dilakukan pada bulan Oktober hingga Desember. Penelitian diakhiri dengan penyusunan laporan akhir dan seminar hasil penelitian pada bulan Desember 2025. Lokasi penelitian berada di Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) GeoDipa Energi Unit Dieng, yang secara administratif meliputi sebagian wilayah Kabupaten Banjarnegara, Kabupaten Wonosobo, dan Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah

3.3 Perangkat Lunak Yang Digunakan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa perangkat lunak (software) untuk mendukung proses pengolahan data dan analisis spasial, yaitu

3.3.1 SNAP (Sentinel Application Platform)

Merupakan software resmi dari ESA yang banyak digunakan dalam pengolahan data Sentinel-1, khususnya untuk analisis deformasi permukaan menggunakan metode *InSAR*. Dalam konteks deformasi, SNAP menyediakan tahapan penting seperti *co-registration*, *interferogram generation*, *debursting*, *multilooking*, *filtering*, hingga *phase unwrapping*. Keunggulannya adalah antarmuka yang cukup *user-friendly*, dukungan plugin beragam, serta kemampuan untuk mengintegrasikan data Sentinel-1 secara langsung dari *Copernicus Open Access Hub*. Dengan alur kerja yang sistematis, SNAP memudahkan peneliti dalam menghasilkan peta deformasi yang dapat dianalisis lebih lanjut untuk keperluan geoteknik maupun mitigasi bencana.



Gambar 3. 1 *Software SNAP (Sentinel Application Platform)*

3.3.2 QGIS (Quantum GIS)

QGIS (*Quantum GIS*) adalah software open-source yang berperan penting dalam tahap analisis spasial dan visualisasi hasil deformasi dari pengolahan data Sentinel-1. Setelah proses interferometri selesai di SNAP, output berupa raster atau vektor dapat diimpor ke QGIS untuk dipetakan, dikombinasikan dengan data spasial lainnya, serta dilakukan analisis lebih lanjut seperti *overlay*, klasifikasi, maupun pembobotan. Kelebihan QGIS terletak pada fleksibilitasnya dalam

mendukung berbagai format data geospasial serta banyaknya plugin tambahan yang mempermudah analisis spasial. Dengan QGIS, peta deformasi tidak hanya ditampilkan secara informatif, tetapi juga dapat diintegrasikan dengan data geologi, topografi, maupun tata guna lahan untuk mendukung interpretasi teknis yang lebih komprehensif.



Gambar 3. 2 Software QGIS

3.3.3 Google Earth

Google Earth digunakan sebagai media visualisasi tiga dimensi untuk menampilkan hasil deformasi permukaan pada konteks spasial yang lebih nyata. Data hasil pengolahan di SNAP maupun QGIS dapat diekspor dalam format KML/KMZ, lalu dimasukkan ke Google Earth sehingga dapat melihat perubahan permukaan secara overlay dengan citra satelit resolusi tinggi dan kondisi topografi sebenarnya. Keunggulan Google Earth adalah kemudahan navigasi, tampilan 3D yang interaktif, serta basis data citra global yang terus diperbarui, sehingga sangat membantu dalam memahami keterkaitan deformasi dengan kondisi lapangan maupun infrastruktur di sekitarnya.



Gambar 3. 3 Software Google Earth

3.4 Langkah- Langkah Penelitian

Dalam melakukan penelitian tugas akhir mengenai analisis deformasi permukaan untuk menilai stabilitas wilayah kerja panas bumi Dieng, diperlukan rencana kerja yang tersusun secara sistematis. Rencana tersebut mencakup kegiatan sebelum pengolahan data, selama proses analisis data, hingga tahap akhir penyusunan laporan. Secara umum, penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu: tahap persiapan, tahap pengolahan dan analisis data, serta tahap penyusunan laporan.

3.4.1 Tahap Persiapan

Adapun beberapa persiapan yang dilakukan sebelum melakukan penelitian yaitu:

1. Studi Pustaka, Studi pustaka dilaksanakan untuk memperoleh keadaan umum daerah penelitian.
2. Penentuan batas daerah penelitian, Dengan adanya batas yang jelas, penelitian tidak melebar terlalu luas dan tetap fokus pada area yang relevan (dalam hal ini WKP Dieng dan jalur pipa panas bumi).
3. Menentukan rencana dan jadwal penelitian, dengan adanya jadwal, peneliti bisa membagi waktu untuk studi literatur, pengumpulan data, pengolahan, analisis, hingga penulisan laporan.
4. Menyiapkan perangkat lunak yang diperlukan dalam penelitian
5. Menentukan data spasial yang akan digunakan dalam penelitian.

3.4.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh bahan dasar yang akan digunakan pada tahap pengolahan dan analisis. Data yang dikumpulkan terdiri dari sebagai berikut :

1. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Sentinel-1 (SAR) yang diperoleh dari *Alaska Satellite Facility (ASF) Data Portal – NASA Distributed Active Archive Center* (<https://asf.alaska.edu>) . Sentinel-1 terdiri atas dua satelit, yaitu Sentinel-1A dan Sentinel-1B, yang bekerja menggunakan

sensor *Synthetic Aperture Radar (SAR)* dengan panjang gelombang *C-band*. Citra yang digunakan mencakup periode tahun 2020–2025. Pengambilan data dilakukan dalam mode *Interferometric Wide Swath (IW)*, yaitu mode perekaman utama Sentinel-1 yang dirancang untuk analisis interferometri radar (InSAR). Mode IW menggunakan teknik *Terrain Observation with Progressive Scans (TOPS)* yang memungkinkan perekaman tiga sub-swath berbeda (IW1, IW2, IW3) dengan lebar cakupan sekitar 250 km serta resolusi spasial sekitar 5×20 meter (*range \times azimuth*). Produk citra yang digunakan adalah *Single Look Complex (SLC)*, yaitu data hasil pemrosesan level-1 yang masih mempertahankan informasi amplitudo dan fase kompleks dari sinyal radar. Data SLC masih berada pada koordinat *slant range* (arah pandang radar) dan memiliki resolusi spasial sekitar 5×20 meter. Produk ini dipilih karena masih menyimpan informasi fase yang diperlukan dalam proses interferometri radar untuk mendeteksi deformasi permukaan secara presisi melalui metode *Two-Pass Differential InSAR*.

2. Peta Geologi: Peta geologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peta Geologi Lembar Pekalongan, Jawa (1109-3) yang disusun oleh Mangga, S.A., Amirudin, S., Suwarti, T., Gafoer, S., dan Sidarto pada tahun 1993, serta diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, di bawah naungan Pusat Survei Geologi (PSG) – Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Peta ini memiliki skala 1:100.000 dan dapat diakses melalui Geoportal ESDM (<https://geoportal.esdm.go.id>) atau situs resmi Pusat Survei Geologi (<https://psg.bgl.esdm.go.id>). Dalam penelitian ini, peta geologi digunakan untuk memperoleh informasi mengenai sebaran dan karakteristik satuan batuan (poligon litologi) pada wilayah studi. Data tersebut membantu dalam memahami pengaruh jenis batuan terhadap tingkat deformasi permukaan yang terdeteksi melalui pengolahan citra Sentinel-1.
3. Peta *Land Use Land Cover (LULC)*: Data tutupan lahan (*Land Use Land Cover/LULC*) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari platform ArcGIS Living Atlas of the World yang disediakan oleh Environmental Systems Research Institute (Esri) melalui laman (<https://livingatlas.arcgis.com>) Dataset

yang digunakan merupakan produk *Esri Global Land Cover 2024* hasil kerja sama antara *Esri, Impact Observatory, Microsoft, dan National Geographic Society*. Peta ini memiliki resolusi spasial 10 meter dan menyajikan delapan kelas utama tutupan lahan, yaitu hutan, pertanian, vegetasi rendah, area terbangun, lahan terbuka, air, salju/es, dan bakau. Dalam penelitian ini, data tutupan lahan digunakan untuk menganalisis hubungan antara deformasi permukaan dengan penggunaan lahan, terutama dalam mengidentifikasi area yang mengalami perubahan signifikan akibat aktivitas antropogenik. Data diunduh dalam format GeoTIFF dan diintegrasikan ke dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai salah satu parameter dalam penilaian stabilitas wilayah penelitian.

4. *Data Digital Elevation Model (DEM/SRTM)*: digunakan untuk menghitung kemiringan lereng dan membantu dalam proses koreksi topografi pada pengolahan InSAR. Data peta kelerengan dalam penelitian ini diperoleh dari Ina-Geoportal yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui laman resmi (<https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>). Dataset tersebut merupakan hasil turunan dari data *Digital Elevation Model (DEMNAS)* yang memiliki resolusi spasial 8,25 meter, disusun oleh BIG bekerja sama dengan LAPAN, Bakosurtanal, dan instansi terkait lainnya. Peta kelerengan digunakan untuk menggambarkan tingkat kemiringan lereng pada wilayah penelitian, yang dihitung berdasarkan perbedaan elevasi antar piksel. Parameter kelerengan ini sangat penting dalam menganalisis pengaruh kondisi morfologi terhadap kestabilan lereng dan deformasi permukaan. Data peta diunduh dalam format GeoTIFF, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG).

3.4.3 Tahap Analisis Data

a) Analisis Deformasi Sentinel-1

Analisis deformasi permukaan menggunakan data Sentinel-1 dilakukan dengan metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SNAP (Sentinel Application Platform) dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Input Data*, Tahap awal pengolahan dilakukan dengan membuka perangkat lunak SNAP dan memasukkan data Sentinel-1 Level-1 Single Look Complex (SLC) dalam format .SAFE. Data SLC digunakan karena masih mempertahankan informasi fase radar yang dibutuhkan dalam analisis interferometri untuk mendeteksi deformasi permukaan.
2. *Apply Orbit File*, Tahap ini dilakukan dengan menambahkan file orbit presisi (Precise Orbit Ephemerides) untuk meningkatkan ketelitian posisi satelit. Penggunaan orbit presisi bertujuan untuk memperbaiki kesalahan geometrik pada metadata orbit awal sehingga perhitungan baseline dan fase interferometri menjadi lebih akurat.
3. *Coregistration (Back Geocoding)*, Coregistrasi dilakukan untuk menyelaraskan citra master dan citra slave agar setiap piksel pada kedua citra merepresentasikan lokasi permukaan yang sama. Proses ini sangat penting karena ketidaktepatan coregistrasi dapat menyebabkan noise fase dan menurunkan kualitas interferogram yang dihasilkan.
4. *Interferogram Formation*, Interferogram dibentuk dengan menghitung selisih fase antara citra master dan slave yang telah terkoregistrasi. Interferogram ini merepresentasikan kombinasi pengaruh deformasi permukaan, topografi, atmosfer, serta noise sistem. Pola frinji yang terbentuk menunjukkan variasi fase sepanjang arah Line of Sight (LOS) sensor radar.

Deburst dan Subset, Proses deburst dilakukan untuk menghilangkan efek tumpang tindih (overlap) antar burst pada citra Sentinel-1 mode IW. Selanjutnya dilakukan subset untuk memotong area citra agar hanya

mencakup wilayah penelitian, yaitu Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) Dieng. Tahap ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan dan fokus analisis.

5. *Topographic Phase Removal*, Komponen fase topografi dihilangkan dengan memanfaatkan data Digital Elevation Model (DEM), seperti SRTM. Tahap ini penting agar interferogram diferensial yang dihasilkan lebih merepresentasikan deformasi permukaan, bukan perbedaan elevasi topografi.
6. *Multilook*, Multilook dilakukan dengan merata-ratakan piksel pada arah range dan azimuth untuk mengurangi speckle noise. Proses ini menghasilkan interferogram yang lebih halus dan stabil, sehingga memudahkan interpretasi pola fase deformasi meskipun dengan konsekuensi penurunan resolusi spasial.
7. *Goldstein Phase Filtering*, Penyaringan fase menggunakan metode Goldstein dilakukan untuk mengurangi noise fase frekuensi tinggi. Tahap ini bertujuan memperjelas pola frinji interferogram sehingga proses unwrapping fase dapat dilakukan dengan lebih baik dan stabil.
8. *Phase Unwrapping (SNAPHU Export & Import)*, Interferogram yang telah difilter diekspor ke perangkat lunak SNAPHU untuk dilakukan proses phase unwrapping. Tahap ini mengubah nilai fase yang bersifat siklik ($-\pi$ hingga $+\pi$) menjadi nilai fase kontinu. Proses unwrapping sangat penting agar perubahan fase dapat dikonversi menjadi nilai deformasi dalam satuan panjang.
9. *Range-Doppler Terrain Correction*, Koreksi medan dilakukan untuk mentransformasikan hasil deformasi dari sistem koordinat radar ke sistem koordinat geografis (WGS84) dengan bantuan DEM. Tahap ini menghasilkan peta deformasi yang telah tergeoreferensi dan dapat diintegrasikan dengan data spasial lainnya.
10. Konversi ke Displacement, Nilai fase hasil unwrapping kemudian dikonversi menjadi displacement permukaan sepanjang arah Line of Sight (LOS) menggunakan panjang gelombang radar Sentinel-1. Hasil

displacement dinyatakan dalam satuan sentimeter atau meter dan merepresentasikan deformasi relatif antar dua waktu akuisisi.

11. Analisis Koherensi dan Masking, Pada tahap ini dilakukan analisis koherensi untuk menilai kualitas interferogram. Nilai koherensi berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai tinggi menunjukkan kestabilan fase yang baik. Dalam penelitian ini digunakan ambang batas nilai koherensi sebesar 0,2, sehingga piksel dengan nilai koherensi di bawah batas tersebut dieliminasi (masking). Langkah ini bertujuan agar hasil deformasi hanya mencakup area dengan korelasi fase yang baik dan representatif (Hanssen, 2001).
12. Ekspor dan Visualisasi Hasil, Tahap akhir adalah mengekspor hasil deformasi ke dalam format GeoTIFF atau KML/KMZ. Format ini memungkinkan hasil deformasi divisualisasikan pada perangkat lunak Sistem Informasi Geografis maupun Google Earth, sehingga memudahkan analisis spasial dan interpretasi deformasi permukaan di wilayah penelitian.



Gambar 3. 4 Alur Pemrosesan InSAR

b) Analisis tren deformasi multi tahun (2020-2025)

Analisis deformasi multi-tahun dilakukan dengan memanfaatkan data hasil pengolahan interferogram dari beberapa pasangan citra Sentinel-1. Setiap interferogram yang telah melalui tahapan unwrapping dan geocoding menghasilkan raster deformasi dalam satuan meter. Untuk memperoleh gambaran umum pola deformasi jangka panjang, digunakan metode Band Math pada SNAP guna menghitung nilai rata-rata dari seluruh raster deformasi tahunan.

Secara teknis, seluruh band raster hasil pengolahan tahunan diintegrasikan, kemudian dijumlahkan, dan dibagi dengan jumlah total raster. Rumus yang digunakan dalam Band Math adalah:

$$\text{Deformasi akumulatif} = \frac{D1 + D2 + D3 + D4 + D5}{5 \text{ (jumlah data)}}$$

Dengan :

- Deformasi Akumulatif = nilai deformasi akumulatif pada piksel koordinat
- Dx = nilai deformasi hasil pengolahan interferometri per periode
- $n \text{ (5)}$ = Jumlah data raster yang digunakan

c) Analisis Korelasi Dengan LULC (*Land Use Land Cover*)

Analisis korelasi dengan penggunaan lahan dilakukan menggunakan zona statistik raster deformasi dilakukan dengan bantuan software QGIS melalui tool *Zonal Statistics*. Dalam proses ini, peta tata guna lahan digunakan sebagai vektor pembatas (polygon) yang merepresentasikan kelas-kelas penggunaan lahan, kemudian raster deformasi dimasukkan sebagai input nilai yang dianalisis. QGIS secara otomatis menghitung nilai statistik, seperti mean, minimum, maksimum, dan standar deviasi, untuk setiap kelas penggunaan lahan. Dari hasil tersebut diperoleh nilai rata-rata deformasi pada masing-masing kategori tata guna lahan, misalnya permukiman, lahan pertanian, hutan,

maupun semak belukar. Pendekatan ini mempermudah identifikasi pola deformasi berdasarkan karakteristik tutupan lahan, serta memberikan dasar yang lebih kuat untuk analisis hubungan antara dinamika deformasi permukaan dengan kondisi tata guna lahan di wilayah penelitian.

d) Analisis Korelasi dengan Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Analisis zona statistik juga diterapkan dengan menggunakan peta geologi sebagai vektor pembatas. Pada tahapan ini, setiap satuan geologi dijadikan zona analisis untuk mengekstraksi nilai deformasi dari raster. Melalui perhitungan statistik yang dilakukan dengan tool Zonal Statistics di QGIS, diperoleh nilai rata-rata deformasi pada tiap formasi batuan. Hasilnya memungkinkan perbandingan tingkat deformasi antar litologi, misalnya apakah batuan vulkanik muda lebih rentan mengalami pergeseran dibandingkan formasi yang lebih tua dan kompak. Dengan demikian, metode ini tidak hanya memberikan informasi kuantitatif berupa rata-rata deformasi di setiap formasi geologi, tetapi juga membantu memahami hubungan antara kondisi geologi dengan pola deformasi permukaan di wilayah penelitian.

e) Analisis Korelasi dengan Kemiringan Lereng

Zona statistik juga dilakukan dengan memanfaatkan peta kemiringan lereng yang telah diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas, seperti landai, agak curam, curam, hingga sangat curam. Setiap kelas lereng dijadikan zona analisis untuk mengekstraksi nilai deformasi dari raster. Dengan bantuan tool *Zonal Statistics* pada QGIS, diperoleh rata-rata deformasi di setiap kategori kemiringan lereng. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai deformasi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecuraman lereng, di mana kelas lereng curam hingga sangat curam memperlihatkan deformasi lebih signifikan dibandingkan kelas landai. Pendekatan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antara gradien lereng dengan pola pergerakan permukaan, serta membantu mengidentifikasi zona rawan ketidakstabilan pada daerah penelitian.

f) Analisis Kestabilan

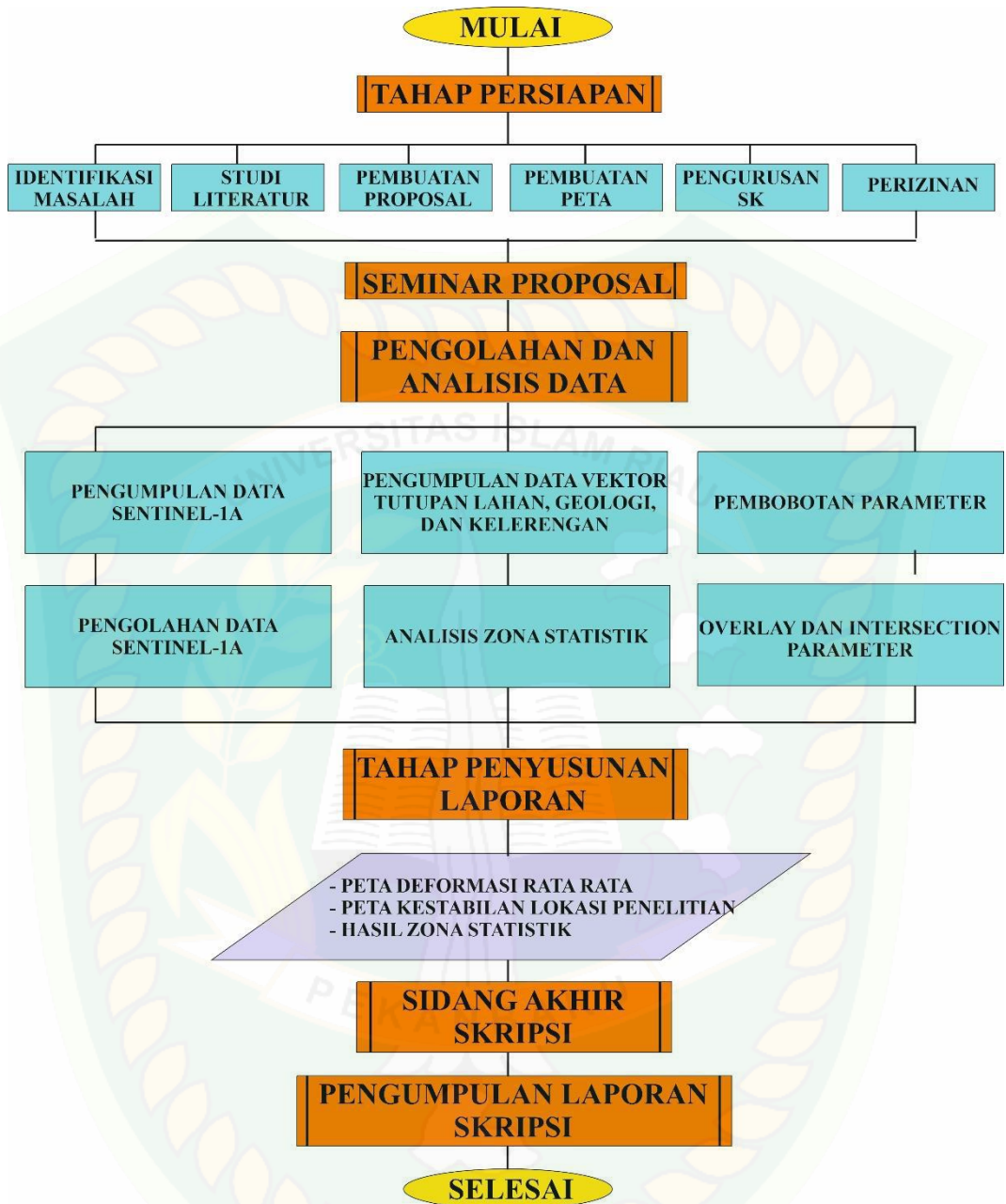
Analisis kestabilan wilayah dilakukan dengan menggabungkan empat parameter—deformasi, tutupan lahan, geologi, dan kemiringan lereng—melalui metode intersection di QGIS. Skor tiap parameter ditentukan berdasarkan nilai rata-rata deformasi pada setiap poligon, di mana deformasi yang lebih kecil diberikan bobot lebih tinggi karena menunjukkan kondisi yang lebih stabil. Setelah proses scoring, seluruh parameter digabungkan untuk menghasilkan peta klasifikasi akhir. Area dengan skor tinggi dikategorikan sebagai wilayah stabil, sedangkan skor menengah hingga rendah menunjukkan tingkat kestabilan sedang hingga rendah (lebih rentan terhadap ketidakstabilan).

Tabel 3. 1 Kelas Kestabilan

NO	VARIABEL	SKOR	KELAS KESETABILAN
1	Deformasi	3	TINGGI
	Tutupan lahan	3	
	Geologi	3	
	Kemiringan lereng	3	
2	Deformasi	2	MENENGAH
	Tutupan lahan	2	
	Geologi	2	
	Kemiringan lereng	2	
3	Deformasi	1	RENDAH
	Tutupan lahan	1	
	Geologi	1	
	Kemiringan lereng	1	

3.5 Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan kegiatan studi literatur dan penyusunan proposal sebagai dasar teori serta acuan metodologi. Tahap berikutnya adalah akuisisi data, yaitu pengumpulan data citra Sentinel-1 (SAR) sebagai data utama untuk analisis deformasi, serta data pendukung berupa peta geologi, peta tata guna lahan, dan DEM (*Digital Elevation Model*) yang akan digunakan dalam analisis parameter lereng. Setelah data terkumpul, dilakukan pengolahan citra Sentinel-1 dengan metode *InSAR* untuk memperoleh peta deformasi permukaan. Hasil pengolahan deformasi selanjutnya dikorelasikan dengan data geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng. Setiap parameter tersebut diberi bobot dan skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap kestabilan wilayah. Tahapan berikutnya adalah melakukan overlay menggunakan metode intersect di QGIS untuk menggabungkan keempat parameter, sehingga diperoleh peta klasifikasi kestabilan wilayah dalam tiga kategori, yaitu rendah, menengah, dan tinggi. Setelah peta akhir diperoleh, dilakukan interpretasi serta analisis terhadap keterkaitan deformasi dengan kondisi geologi, topografi, dan tata guna lahan. Penelitian ini diakhiri dengan penyusunan laporan akhir dan seminar hasil penelitian. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.15 Diagram Alir penelitian



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan analisis deformasi permukaan yang diperoleh dari pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Analisis deformasi dilakukan secara multitemporal untuk mengidentifikasi pola pergerakan permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng selama periode pengamatan. Hasil deformasi yang diperoleh selanjutnya dibahas dengan mengaitkannya terhadap kondisi geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng guna memahami faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya deformasi permukaan. Pembahasan pada bab ini juga diarahkan untuk mengevaluasi implikasi deformasi terhadap kestabilan wilayah, khususnya pada area yang berkaitan dengan infrastruktur panas bumi.

Dimulai dari pengolahan data Sentinel-1A yang datanya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 1 Tabel Akuisisi Citra

Citra Master	Citra Slave	Interval Waktu (hari)	Baseline Spasial (m)	Sensor	Mode Akuisisi	Produk	Resolusi (m)	Keterangan
09 Jan 2020	13 Jun 2020	±156	13	Sentinel-1A	IW	SLC	5 × 20	Interferogram awal 2020
13 Jun 2020	10 Des 2020	±180	16	Sentinel-1A	IW	SLC	5 × 20	Interferogram akhir 2020
08 Feb 2021	03 Mei 2021	±84	11	Sentinel-1A	IW	SLC	5 × 20	Interferogram awal 2021
03 Mei 2021	17Des 2021	±228	12	Sentinel-1A	IW	SLC	5 × 20	Interferogram akhir 2021

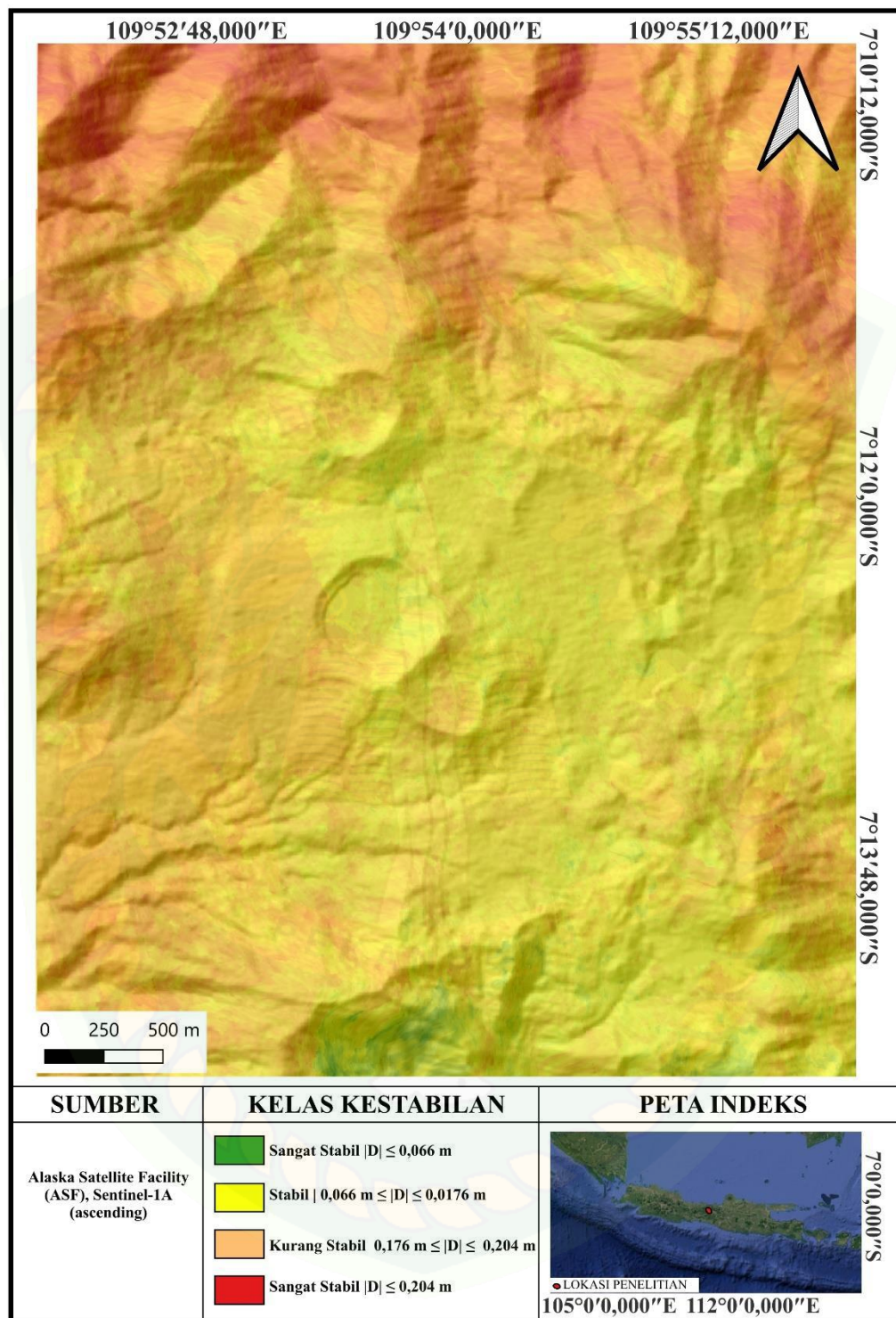
10 Jan 2022	12 Des 2022	± 336	33	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram tahunan 2022
11 Apr 2023	05 Mei 2023	± 24	28	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram jangka pendek 2023
16 Jul 2023	28 Jul 2023	± 12	31	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram pertengahan 2023
20 Sep 2023	14 Okt 2023	± 24	2	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram akhir 2023
12 Jan 2024	17 Feb 2024	± 46	15	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram awal 2024
10 Jul 2024	22 Jul 2024	± 12	10	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram pertengahan 2024
20 Sep 2024	14 Okt 2024	± 24	26	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram akhir 2024
30 Jan 2025	11 Feb 2025	± 12	16	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram awal 2025
18 Mei 2025	30 Mei 2025	± 12	14	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram pertengahan 2025
02 Nov 2025	14 Nov 2025	± 12	9	Sentinel- 1A	IW	SLC	5×20	Interferogram akhir 2025

4.1 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2020

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng pada tahun 2020 berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pada tahun 2020, analisis deformasi dilakukan menggunakan dua interferogram yang dibentuk dari pasangan citra Sentinel-1 dengan nilai perpendicular baseline yang relatif kecil, sehingga kualitas interferogram yang dihasilkan dapat dianggap baik dan andal.

4.1.1 Deformasi Permukaan Periode 9 Januari 2020 – 13 Juni 2020

Analisis deformasi permukaan pada periode ini dilakukan menggunakan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 9 Januari 2020 dan 13 Juni 2020 dengan interval waktu sekitar 156 hari. Berdasarkan hasil perhitungan baseline, nilai perpendicular baseline pasangan citra ini sebesar 13 m, yang menunjukkan perbedaan lintasan orbit yang kecil. Nilai baseline tersebut berada jauh di bawah ambang batas 50 m, sehingga interferogram yang dihasilkan memiliki kualitas geometrik yang baik dan tingkat dekorelasi fase yang rendah.



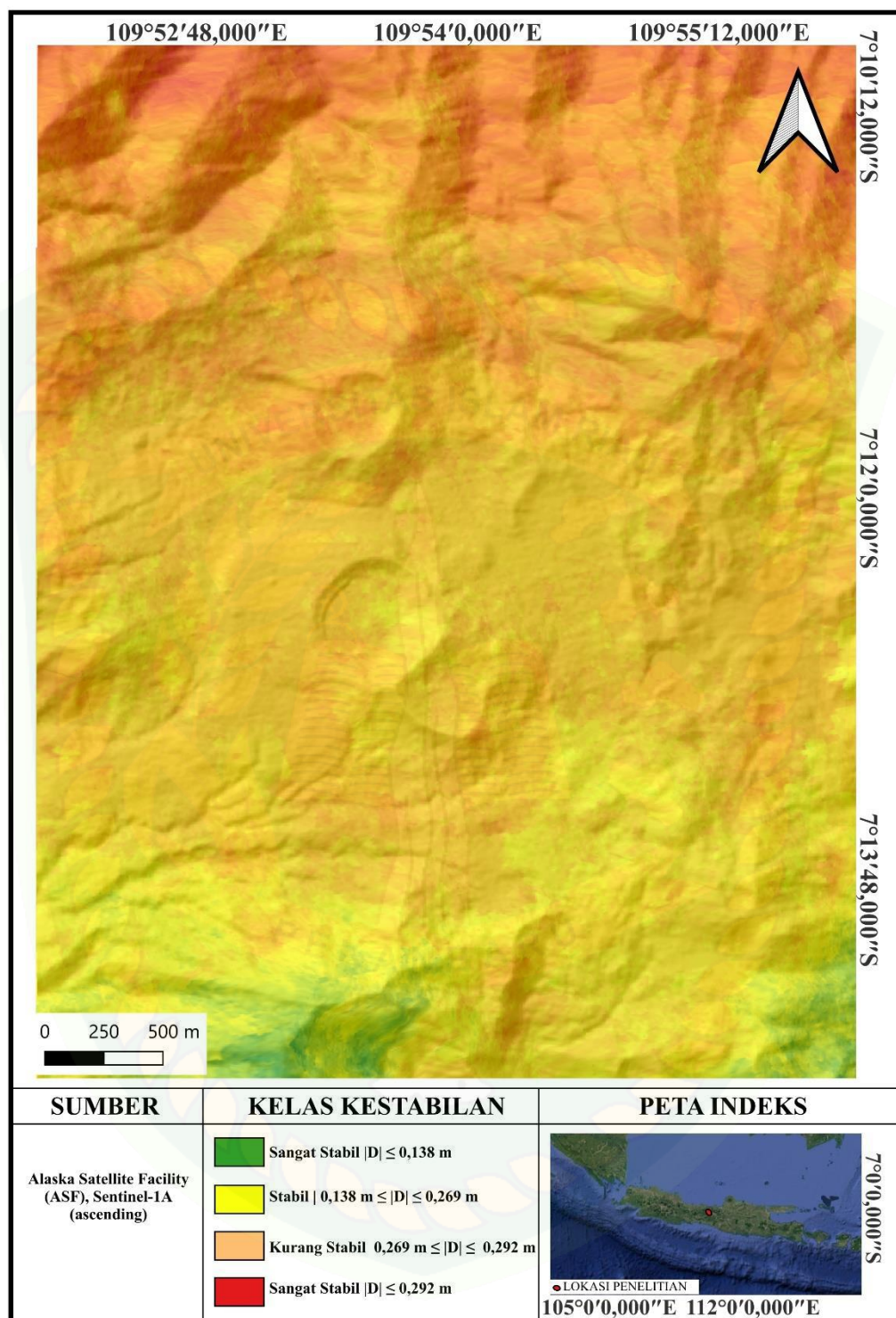
Gambar 4. 1 Peta Deformasi 9 Januari 2020 – 13 Juni 2020

Hasil analisis deformasi permukaan periode Januari–Juni 2020 diperoleh dari pasangan citra Sentinel-1 tanggal 9 Januari 2020 dan 13 Juni 2020 dengan nilai perpendicular baseline sebesar 13 m. Peta deformasi menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,066 < |D| \leq 0,176$ m, serta kelas sangat stabil dengan nilai deformasi .

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,176 < |D| \leq 0,204$ m muncul secara terbatas dan tersebar pada beberapa bagian wilayah penelitian. Kelas tidak stabil hanya teridentifikasi pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi. Secara umum, distribusi deformasi permukaan pada periode ini menunjukkan dominasi kelas stabil dan sangat stabil di seluruh wilayah penelitian

4.1.2 Deformasi Permukaan Periode 13 Juni 2020 – 10 Desember 2020

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan yang diperoleh dari pengolahan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 13 Juni 2020 dan 10 Desember 2020 menggunakan metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Pasangan citra tersebut memiliki nilai perpendicular baseline sebesar 16 m, yang menunjukkan perbedaan lintasan orbit yang relatif kecil dan memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan di wilayah penelitian. Dengan interval waktu sekitar 180 hari, hasil deformasi pada periode ini merepresentasikan perubahan deformasi permukaan yang terjadi pada paruh kedua tahun 2020.



Gambar 4. 2 Peta Deformasi 13 Juni 2020 – 10 Desember 2020

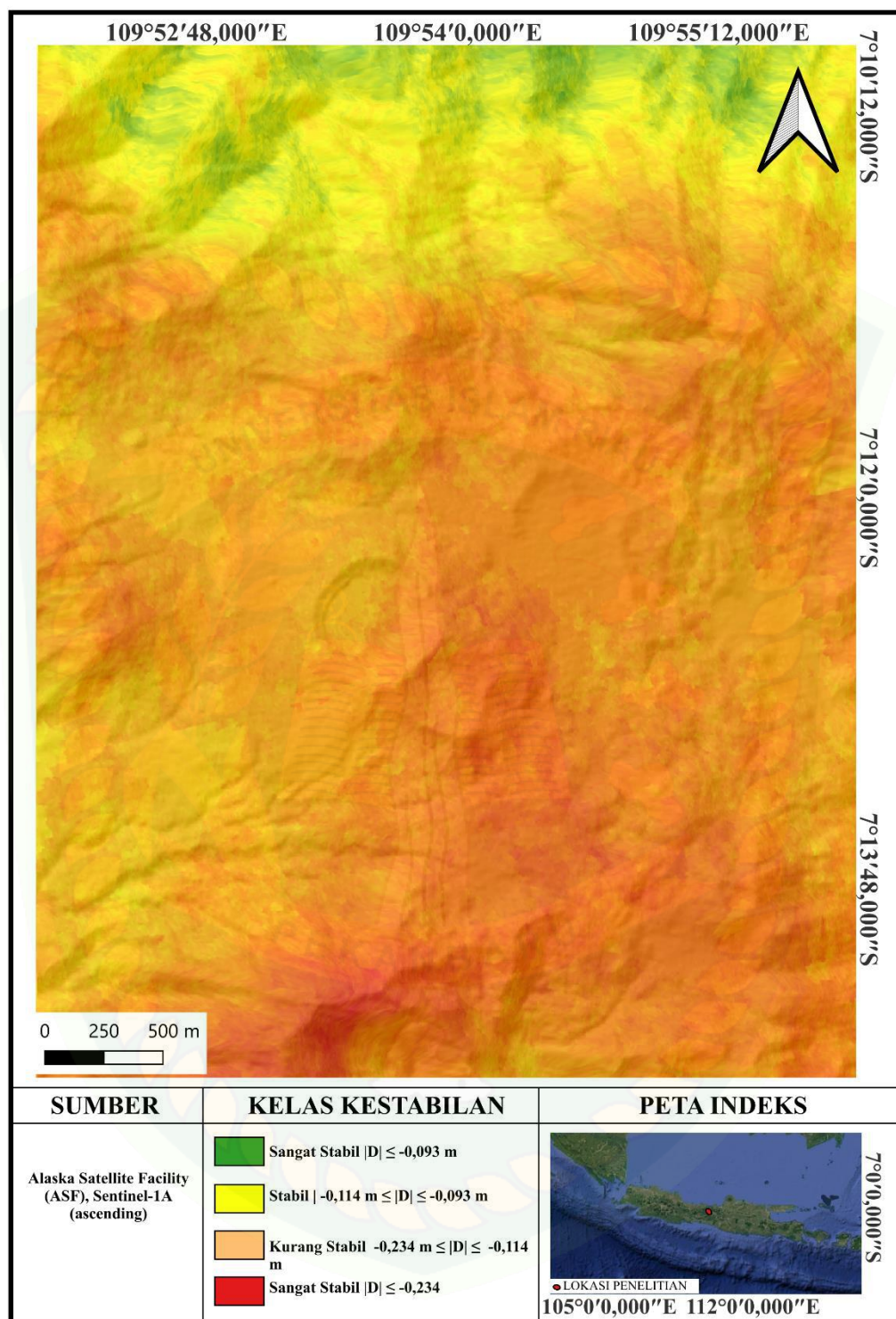
Berdasarkan peta deformasi yang dihasilkan, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian secara umum didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,138 < |D| \leq 0,269$ m. Kelas ini tersebar luas dan mencakup sebagian besar area penelitian. Selain itu, kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,138$ m masih dijumpai pada beberapa bagian wilayah, meskipun dengan luasan yang lebih terbatas dibandingkan kelas stabil. Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,269 < |D| \leq 0,292$ m teridentifikasi pada sejumlah lokasi tertentu dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,292$ m hanya muncul pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini

4.2 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2021

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng pada tahun 2021 berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Pada tahun 2021, analisis deformasi dilakukan menggunakan dua interferogram yang dibentuk dari pasangan citra Sentinel-1 tanggal 8 Februari 2021 – 3 Mei 2021 dengan nilai perpendicular baseline sebesar 11 m, serta pasangan citra tanggal 3 Mei 2021 – 17 Desember 2021 dengan nilai perpendicular baseline sebesar 12 m. Nilai baseline yang relatif kecil tersebut menunjukkan kondisi geometri akuisisi citra yang baik, sehingga interferogram yang dihasilkan memenuhi kriteria kualitas untuk analisis deformasi permukaan.

4.2.1 Deformasi Permukaan Periode 8 Februari 2021 – 3 Mei 2021

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan yang diperoleh dari pasangan citra Sentinel-1 tanggal 8 Februari 2021 dan 3 Mei 2021 menggunakan metode Two-Pass DInSAR. Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 84 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 11 m, yang menunjukkan perbedaan lintasan orbit yang kecil.



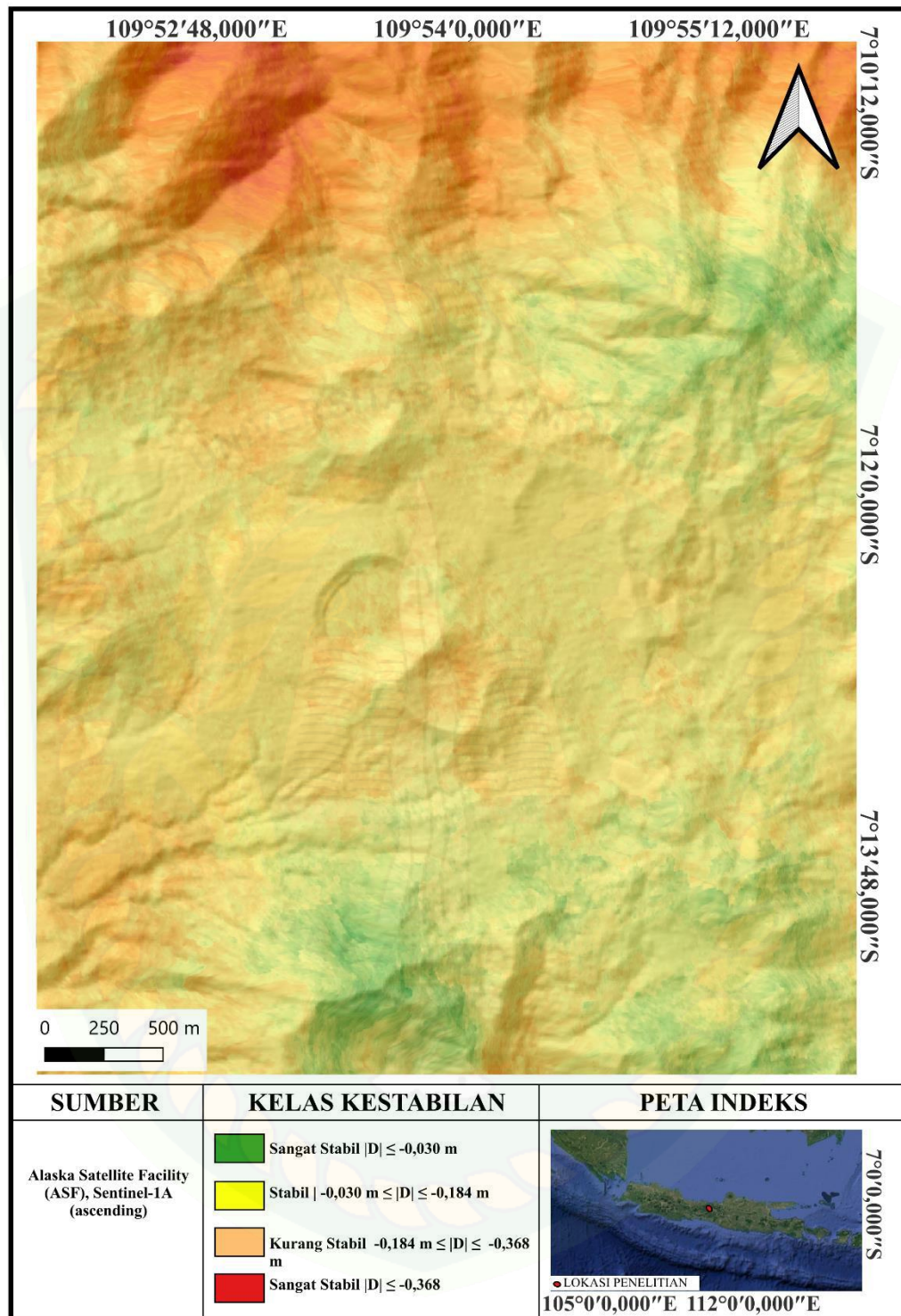
Gambar 4. 3 Peta Deformasi 8 Februari 2021 – 3 Mei 2021

Berdasarkan peta deformasi, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian menunjukkan dominasi kelas stabil dengan nilai deformasi $-0,114 \text{ m} < D \leq -0,093 \text{ m}$ yang tersebar luas pada sebagian besar area. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $D > -0,093 \text{ m}$ masih dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area tertentu dengan perubahan deformasi yang relatif kecil.

Selain itu, kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $-0,234 \text{ m} < D \leq -0,114 \text{ m}$ muncul secara terbatas dan tersebar secara lokal di beberapa bagian wilayah penelitian. Kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $D \leq -0,234 \text{ m}$ teridentifikasi pada area yang relatif kecil dan tidak mendominasi keseluruhan sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.

4.2.2 Deformasi Permukaan Periode 3 Mei 2021 – 17 Desember 2021

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan yang diperoleh dari pengolahan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 3 Mei 2021 dan 17 Desember 2021 menggunakan metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Pasangan citra tersebut memiliki nilai perpendicular baseline sebesar 12 m dengan interval waktu sekitar 228 hari, yang menunjukkan perbedaan lintasan orbit yang relatif kecil antar waktu akuisisi. Kondisi geometri akuisisi citra tersebut memenuhi kriteria kualitas interferogram, sehingga hasil deformasi yang diperoleh dapat digunakan untuk menggambarkan sebaran deformasi permukaan pada wilayah penelitian selama periode pengamatan ini.



Gambar 4. 4 Peta Deformasi 3Mei 2021 – 17 Desember 2021

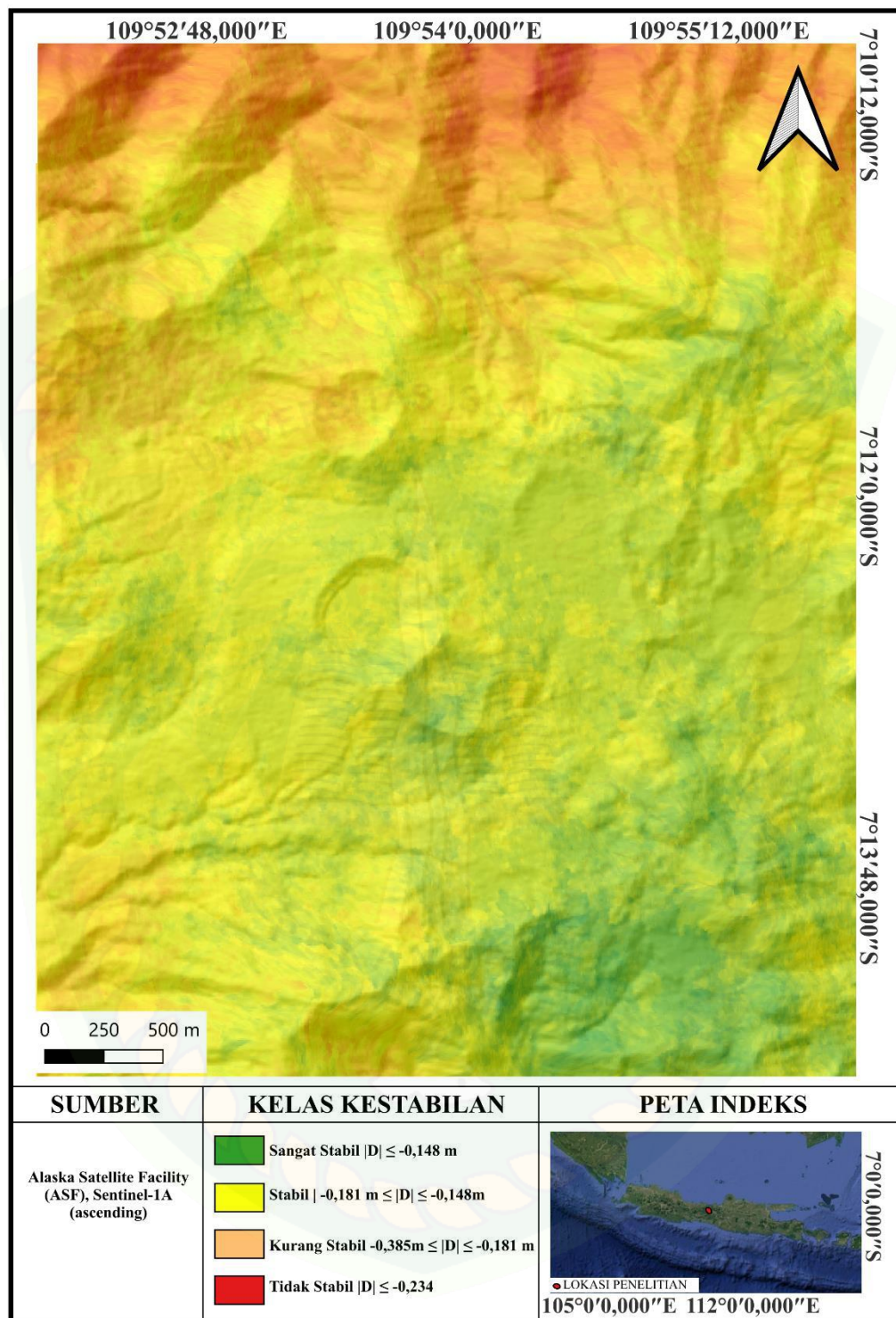
Berdasarkan peta deformasi, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $-0,184 \text{ m} < D \leq -0,030 \text{ m}$ yang tersebar luas pada sebagian besar area. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $D > -0,030 \text{ m}$ masih dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area tertentu dengan perubahan deformasi yang relatif kecil. Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $-0,368 \text{ m} < D \leq -0,184 \text{ m}$ teridentifikasi pada sejumlah lokasi dan tersebar secara lokal, sedangkan kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $D \leq -0,368 \text{ m}$ hanya muncul pada area yang sangat terbatas dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.

4.3 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2022

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng pada tahun 2022 berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode *Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Pada tahun 2022, analisis deformasi dilakukan menggunakan satu interferogram yang dibentuk dari pasangan citra Sentinel-1 tanggal 10 Januari 2022 dan 12 Desember 2022 dengan nilai perpendicular baseline sebesar 33 m.

4.3.1 Deformasi Permukaan Periode 10 Januari 2022 – 12 Desember 2022

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan yang diperoleh dari pengolahan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 10 Januari 2022 dan 12 Desember 2022 menggunakan metode Two-Pass DInSAR. Pasangan citra tersebut memiliki interval waktu sekitar 336 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 33 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan pada wilayah penelitian.



Gambar 4. 5 Peta Deformasi 10 Januari 2022 – 12 Desember 2022

Berdasarkan peta deformasi, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $-0,181 \text{ m} < D \leq -0,148 \text{ m}$ yang mencakup sebagian besar area. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $D > -0,148 \text{ m}$ juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area dengan perubahan deformasi yang relatif kecil.

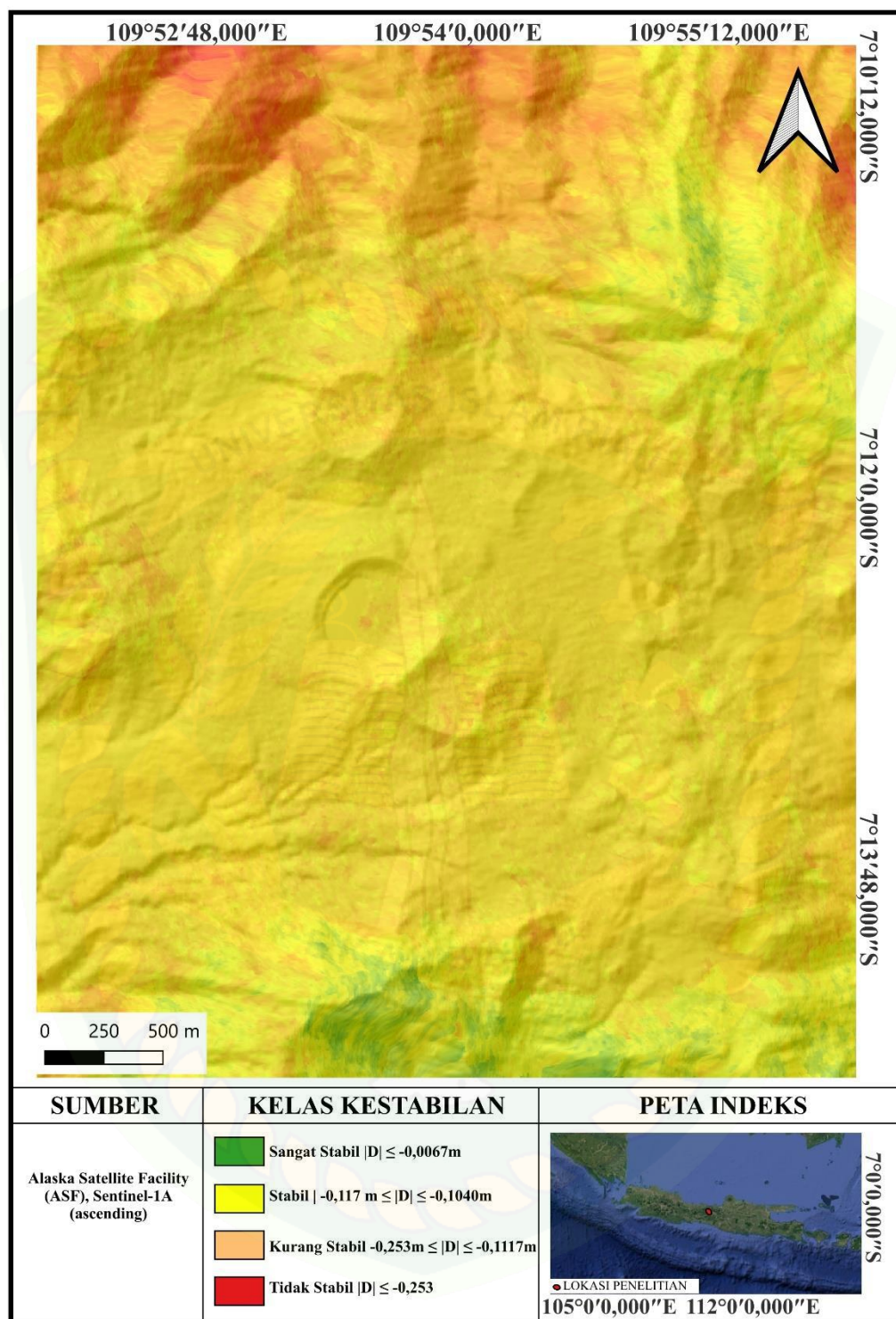
Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $-0,385 \text{ m} < D \leq -0,181 \text{ m}$ teridentifikasi pada sejumlah lokasi tertentu dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $D \leq -0,385 \text{ m}$ hanya muncul pada area yang sangat terbatas dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.

4.4 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2023

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng pada tahun 2023 berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pada tahun 2023, analisis deformasi dilakukan menggunakan tiga interferogram yang dibentuk dari pasangan citra Sentinel-1 dengan nilai perpendicular baseline yang bervariasi namun masih memenuhi kriteria kualitas interferogram.

4.4.1 Deformasi Permukaan Periode 11 April 2023 – 5 Mei 2023

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 11 April 2023 dan 5 Mei 2023 yang diolah menggunakan metode Two-Pass DInSAR. Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 24 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 28 m.



Gambar 4. 6 Peta Deformasi 11 April 2023 – 5 Mei 2023

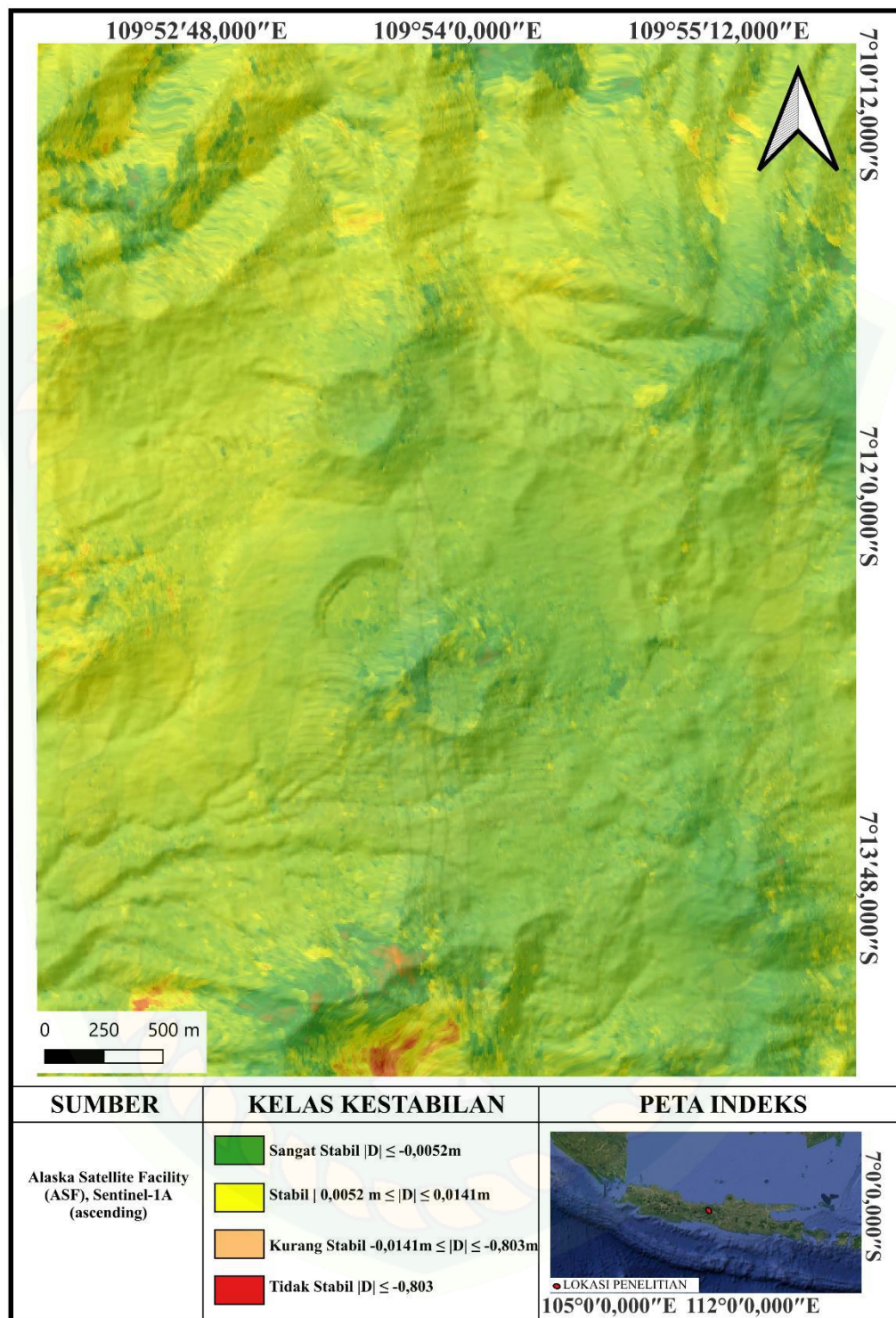
Berdasarkan peta deformasi, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $-0,1117 < D \leq -0,1040$ m yang tersebar luas pada sebagian besar area. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0067$ m masih dijumpai pada beberapa bagian wilayah, meskipun dengan luasan yang relatif terbatas.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $-0,253 < D \leq -0,1117$ m teridentifikasi pada sejumlah lokasi dan tersebar secara lokal di wilayah penelitian. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $D \leq -0,2532$ m hanya muncul pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.

4.4.2 Deformasi Permukaan Periode 16 Juli 2023 – 28 Juli 2023

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 16 Juli 2023 dan 28 Juli 2023 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra tersebut memiliki interval waktu sekitar 12 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 31 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan pada wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0052$ m yang mencakup sebagian besar area. Kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0052 < |D| \leq 0,0141$ m juga tersebar luas, terutama pada bagian tengah dan selatan wilayah penelitian. Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,0141 < |D| \leq 0,0803$ m muncul secara terbatas dan tersebar lokal pada beberapa bagian wilayah. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,0803$ m hanya teridentifikasi pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.. peta dapat dilihat pada gambar



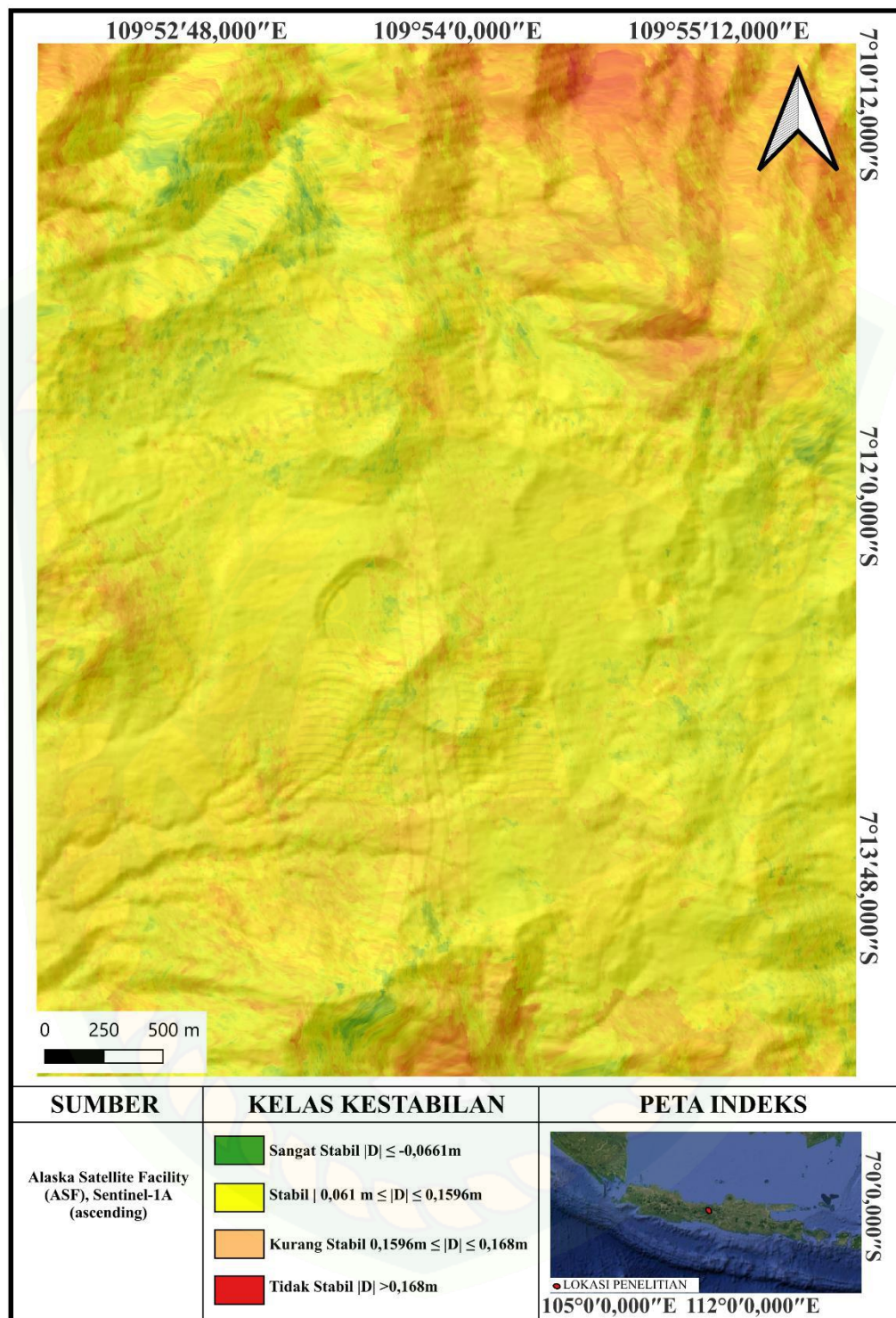
Gambar 4. 7 Peta Deformasi 16 Juli 2023 – 28 Juli 2023

4.4.3 Deformasi Permukaan Periode 26 September 2023 – 20 Oktober 2023

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 26 September 2023 dan 20 Oktober 2023 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 24 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 2 m, yang menunjukkan perbedaan lintasan orbit yang sangat kecil dan memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan. Dengan interval waktu yang relatif singkat, hasil deformasi pada periode ini merepresentasikan kondisi deformasi permukaan pada bagian akhir tahun 2023.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0409 < |D| \leq 0,1106$ m yang tersebar luas pada sebagian besar area penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0409$ m juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area tertentu yang menunjukkan perubahan deformasi relatif kecil. Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,1106 < |D| \leq 0,1211$ m muncul secara terbatas dan tersebar secara lokal di beberapa bagian wilayah penelitian. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,1211$ m hanya teridentifikasi pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini.

Selain itu, distribusi spasial kelas kestabilan menunjukkan pola sebaran yang relatif merata pada wilayah penelitian, tanpa adanya konsentrasi kelas deformasi tertentu yang mendominasi secara signifikan. Variasi nilai deformasi yang muncul pada beberapa lokasi bersifat lokal dan tersebar, sehingga secara umum hasil interferogram pada periode ini masih didominasi oleh kelas stabil dan sangat stabil. Peta dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4. 8 Peta Deformasi 26 September 2023 – 20 Oktober 2023

4.5 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2024

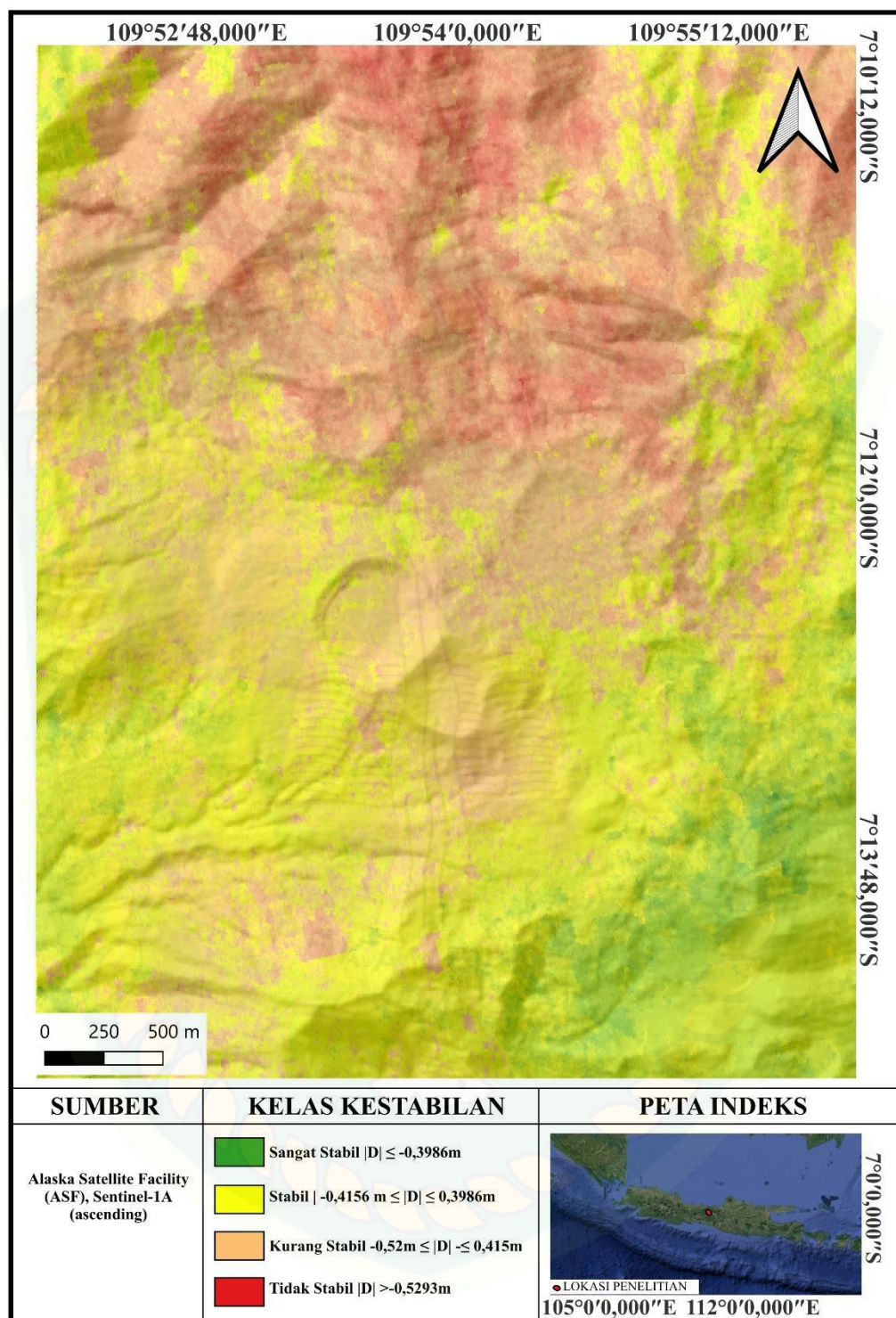
Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan di Wilayah Kerja Panas Bumi Dieng pada tahun 2024 berdasarkan pengolahan data Sentinel-1 menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pada tahun 2024, analisis deformasi dilakukan menggunakan tiga interferogram yang dibentuk dari pasangan citra Sentinel-1 dengan nilai perpendicular baseline yang relatif kecil, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan.

4.5.1 Deformasi Permukaan Periode 12 Januari 2024 – 17 Februari 2024

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 12 Januari 2024 dan 17 Februari 2024 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 36 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 15 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan pada wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $-0,4156 < |D| \leq -0,3986$ m yang mencakup sebagian besar area penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \geq -0,3986$ m juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area tertentu dengan perubahan deformasi yang relatif kecil.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $-0,52 < |D| \leq -0,415$ m teridentifikasi pada sejumlah lokasi dan tersebar secara lokal di wilayah penelitian. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq -0,5293$ m hanya muncul pada area yang sangat terbatas dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini. Secara umum, distribusi kelas kestabilan pada periode Januari–Februari 2024 masih menunjukkan dominasi kelas stabil dan sangat stabil.



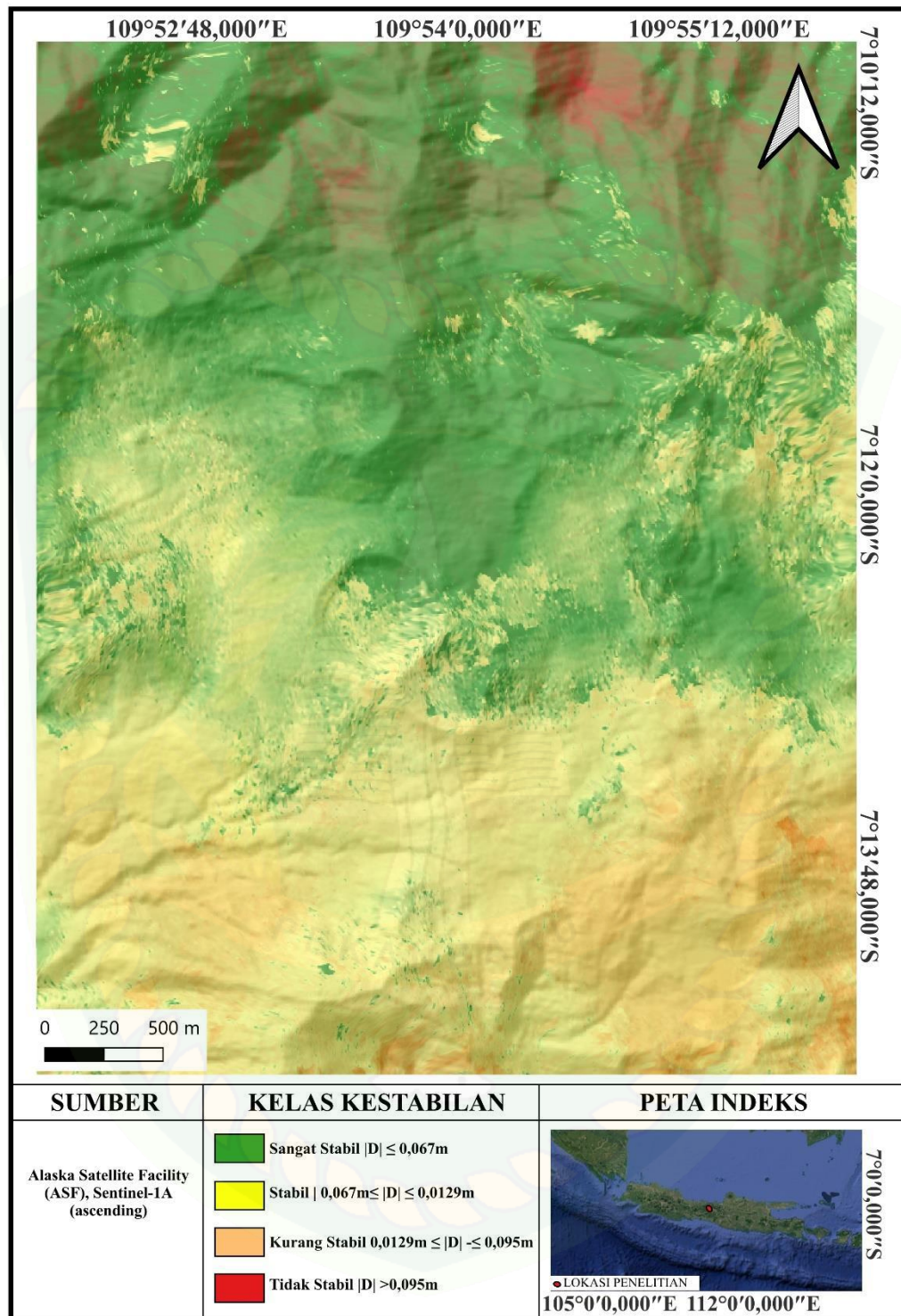
Gambar 4. 9 Peta Deformasi 12 Januari 2024 – 17 Februari 2024

4.5.2 Deformasi Permukaan Periode 10 Juli 2024 – 22 Juli 2024

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 10 Juli 2024 dan 22 Juli 2024 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 12 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 10 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan pada wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0067$ m yang tersebar luas, terutama pada bagian utara dan tengah wilayah penelitian. Kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0067 < |D| \leq 0,0129$ m juga mencakup area yang cukup luas dan menyebar relatif merata.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,0129 < |D| \leq 0,095$ m muncul secara terbatas dan tersebar secara lokal pada beberapa bagian wilayah penelitian. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,0950$ m hanya teridentifikasi pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini. Secara umum, distribusi kelas kestabilan pada periode Juli 2024 menunjukkan dominasi kelas sangat stabil dan stabil.



Gambar 4. 10 Peta Deformasi 10 Juli 2024 – 22 Juli 2024

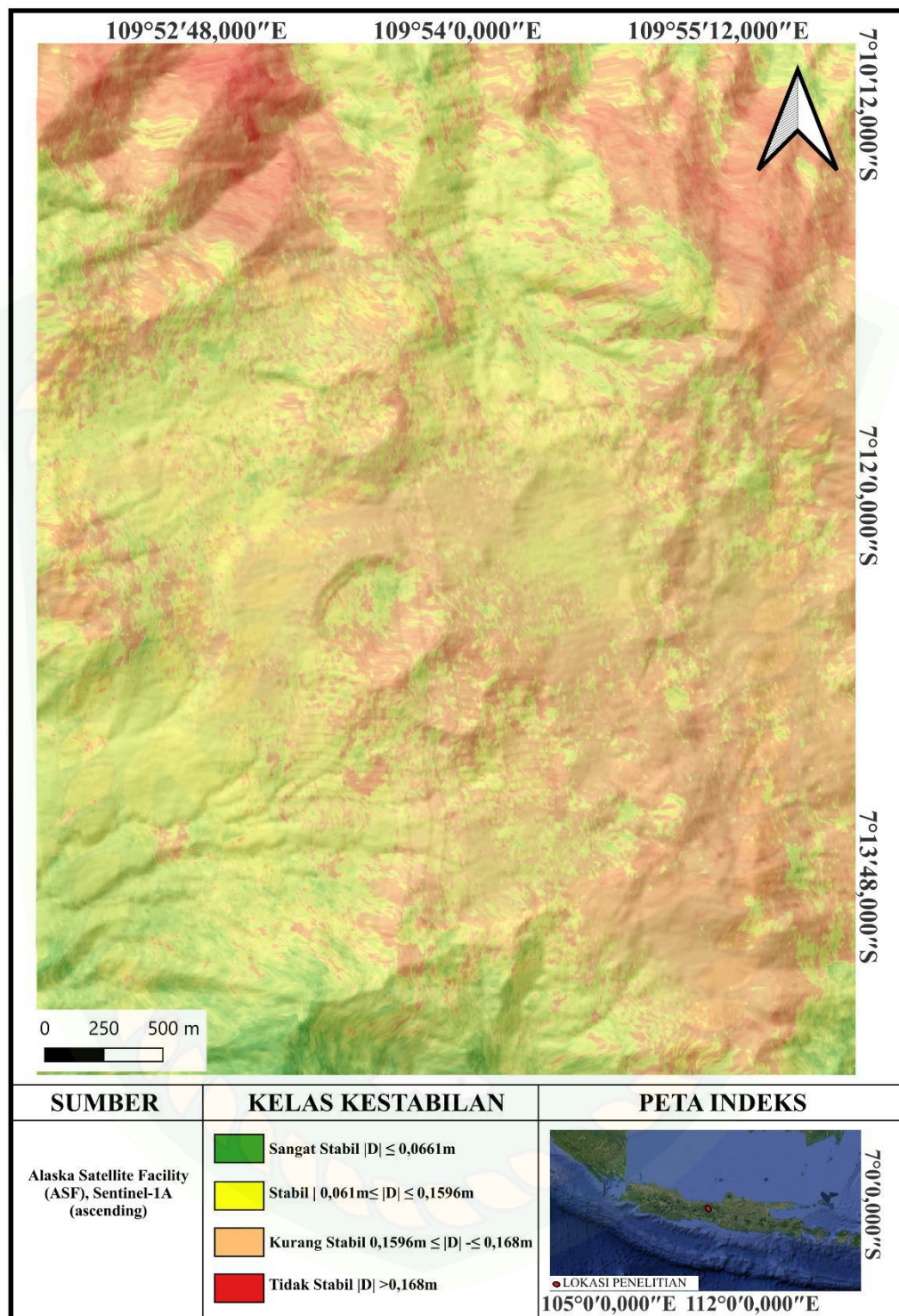
4.5.3 Deformasi Permukaan Periode 20 September 2024 – 14 Oktober 2024

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 20 September 2024 dan 14 Oktober 2024 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 24 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 26 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan pada wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0661 < |D| \leq 0,1596$ m yang tersebar luas pada sebagian besar area penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0661$ m juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area tertentu dengan perubahan deformasi yang relatif kecil.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,1596 < |D| \leq 0,1689$ m teridentifikasi pada sejumlah lokasi dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,1689$ m hanya muncul pada area yang sangat terbatas dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan pada periode pengamatan ini. Secara umum, distribusi kelas kestabilan pada periode September–Oktober 2024 masih menunjukkan dominasi kelas stabil dan sangat stabil.

Selain itu, perbedaan nilai deformasi yang teramati pada periode ini menunjukkan adanya variasi deformasi permukaan yang bersifat lokal dan tidak merata. Area dengan nilai deformasi yang lebih besar umumnya muncul secara terisolasi dan tidak membentuk pola sebaran yang kontinu, sedangkan area dengan nilai deformasi kecil hingga sangat kecil tersebar lebih luas di wilayah penelitian. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan deformasi permukaan pada periode September–Oktober 2024 masih didominasi oleh perubahan dengan magnitudo rendah hingga sedang.



Gambar 4. 11 Peta Deformasi 20 September 2024 – 14 Oktober 2024

4.6 Hasil Analisis Deformasi Permukaan Tahun 2025

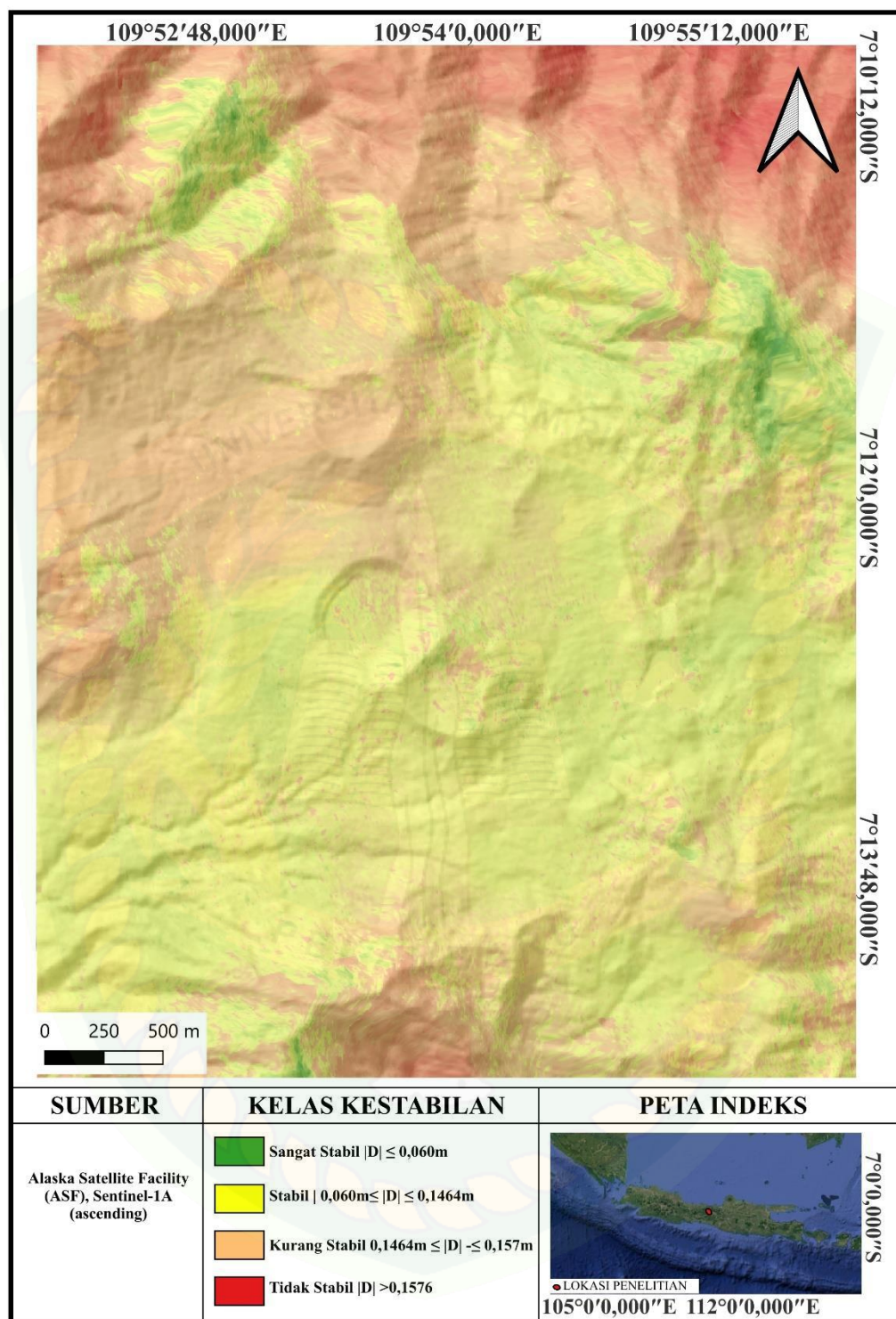
Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan wilayah penelitian selama tahun 2025 berdasarkan data citra Sentinel-1 yang diolah menggunakan metode Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Analisis dilakukan secara multi-temporal dengan memanfaatkan beberapa pasangan citra yang merepresentasikan kondisi deformasi permukaan pada periode awal, pertengahan, dan akhir tahun 2025. Hasil deformasi permukaan disajikan dalam bentuk peta Line of Sight (LOS) displacement yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kelas kestabilan permukaan untuk menggambarkan sebaran spasial deformasi pada wilayah penelitian.

4.6.1 Deformasi Permukaan Periode 30 Januari 2025 – 11 Februari 2025

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 30 Januari 2025 dan 11 Februari 2025 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 12 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 16 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan di wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan pada periode ini didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0600 < |D| \leq 0,1464$ m yang mencakup sebagian besar wilayah penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0600$ m juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area yang menunjukkan perubahan deformasi relatif kecil.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,146 < |D| \leq 0,157$ m teridentifikasi secara terbatas dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,1576$ m hanya muncul pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan. Secara umum, distribusi deformasi permukaan pada periode Januari–Februari 2025 masih didominasi oleh kelas stabil hingga sangat stabil dengan variasi spasial yang relative merata.



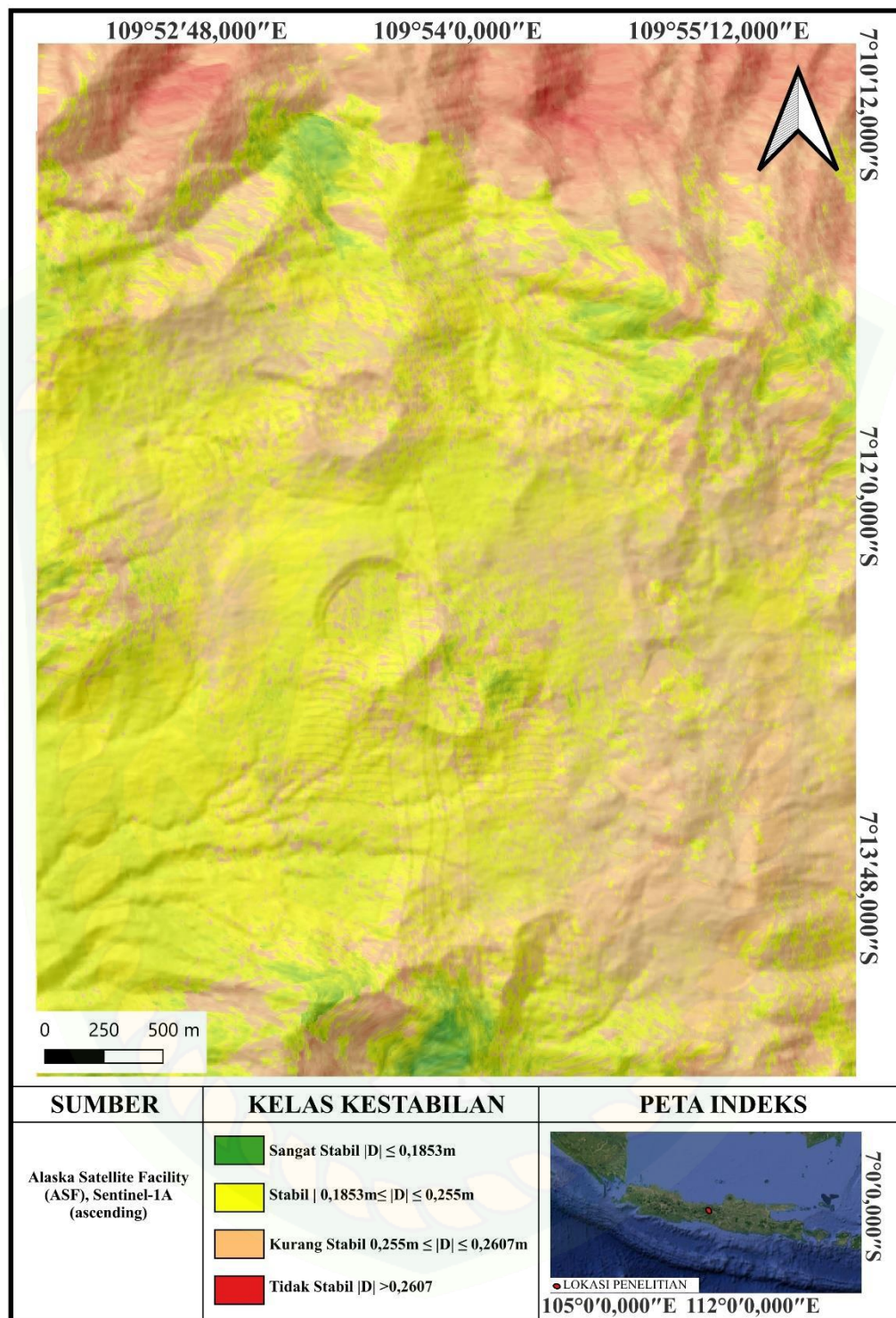
Gambar 4. 12 Peta Deformasi 30 Januari 2025 – 11 Februari 2025

4.6.2 Deformasi Permukaan Periode 18 Mei 2025 – 30 Mei 2025

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 18 Mei 2025 dan 30 Mei 2025 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 12 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 14 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan di wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan pada periode ini didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,1853 < |D| \leq 0,2555$ m yang tersebar luas pada sebagian besar wilayah penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,1853$ m juga dijumpai pada beberapa bagian wilayah, terutama pada area dengan perubahan deformasi yang relatif kecil.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,2555 < |D| \leq 0,2607$ m teridentifikasi secara terbatas dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,2607$ m hanya muncul pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan. Secara umum, deformasi permukaan pada periode Mei 2025 menunjukkan dominasi kelas stabil hingga sangat stabil dengan variasi spasial yang relatif merata.



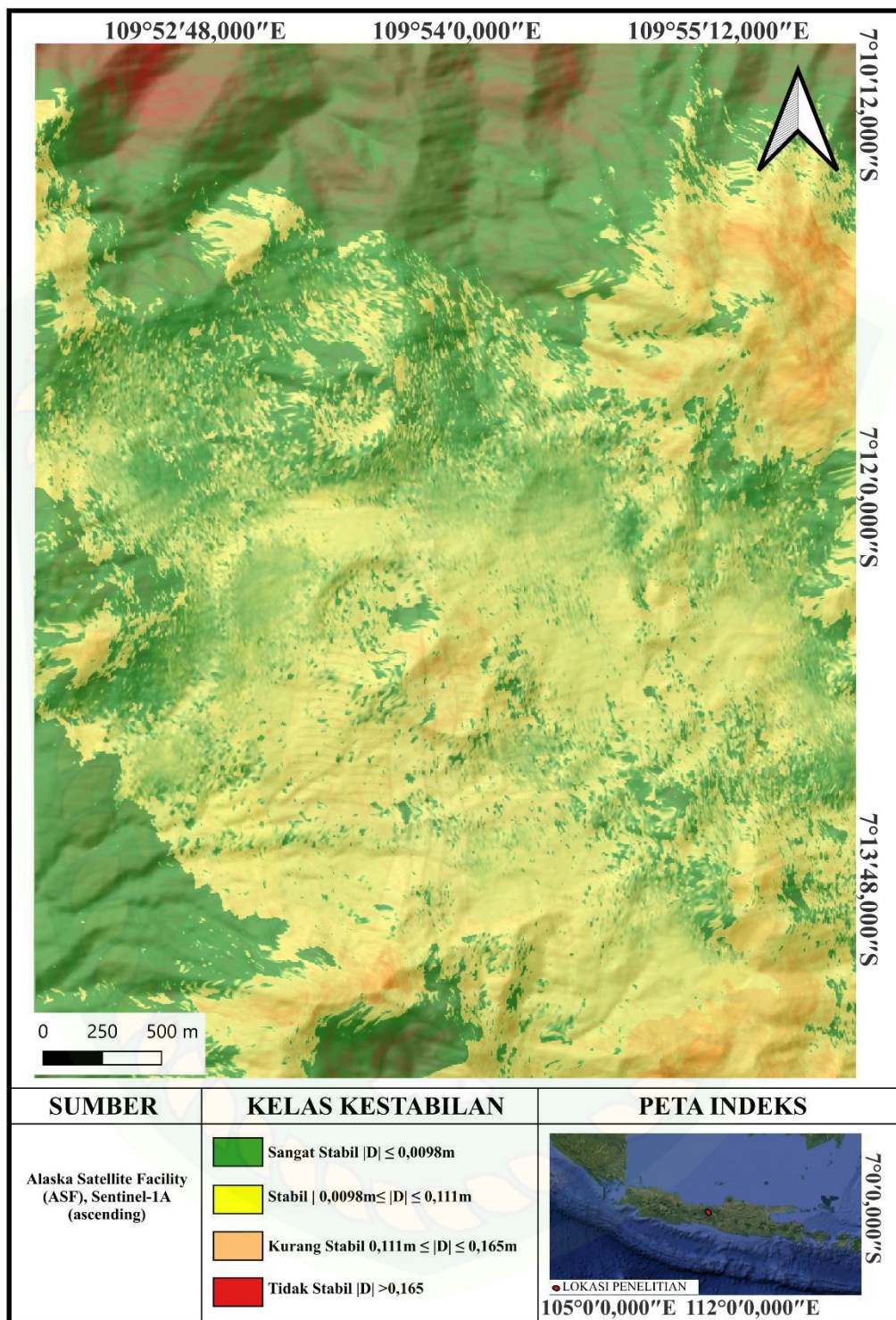
Gambar 4. 13 Peta Deformasi 18 Mei 2025 – 30 Mei 2025

4.6.3 Deformasi Permukaan Periode 2 November 2025 – 14 November 2025

Subbab ini menyajikan hasil analisis deformasi permukaan berdasarkan pasangan citra Sentinel-1 tanggal 2 November 2025 dan 14 November 2025 yang diolah menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR). Pasangan citra ini memiliki interval waktu sekitar 12 hari dengan nilai perpendicular baseline sebesar 9 m, sehingga memenuhi kriteria kualitas interferogram untuk analisis deformasi permukaan di wilayah penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi permukaan pada periode ini didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,0098 < |D| \leq 0,1110$ m yang mencakup sebagian besar wilayah penelitian. Kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,0098$ m juga dijumpai secara luas, terutama pada beberapa bagian wilayah yang menunjukkan perubahan deformasi yang sangat kecil.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,1110 < |D| \leq 0,1653$ m muncul secara terbatas dan tersebar secara lokal. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,1653$ m hanya teridentifikasi pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi permukaan. Secara umum, deformasi permukaan pada periode November 2025 menunjukkan dominasi kelas sangat stabil hingga stabil dengan distribusi spasial yang relatif merata.



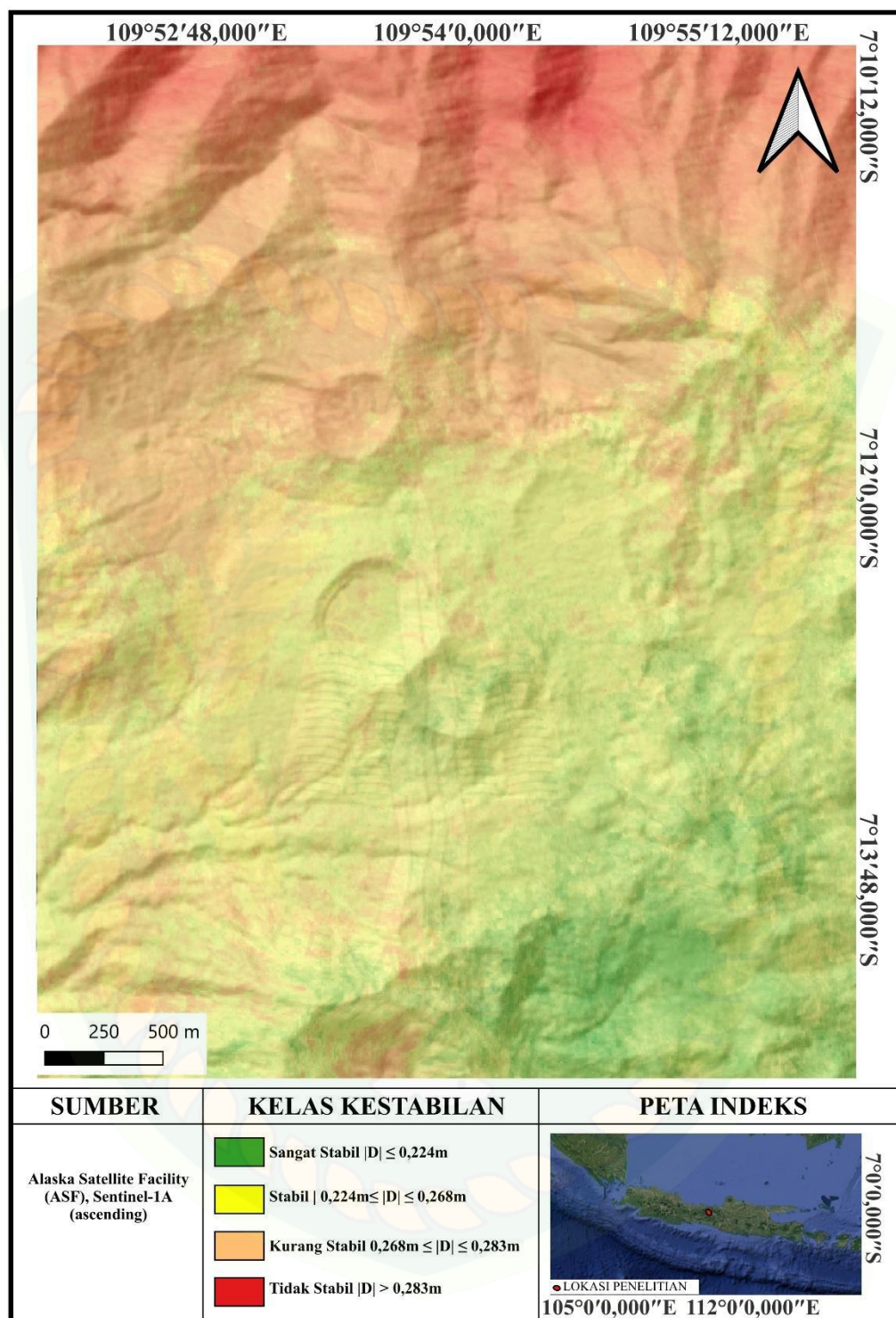
Gambar 4. 14 Peta Deformasi 2 November 2025 – 14 November 2025

4.7 Rata-Rata Deformasi Permukaan Berdasarkan 14 Interferogram

Subbab ini menyajikan hasil analisis rata-rata deformasi permukaan yang diperoleh dari pengolahan 14 interferogram Sentinel-1 selama periode pengamatan tahun 2020 hingga 2025. Peta rata-rata deformasi ini disusun dengan menggabungkan seluruh hasil interferogram yang telah dihasilkan pada masing-masing periode pengamatan, sehingga mampu merepresentasikan kecenderungan deformasi permukaan secara umum dan berkelanjutan di wilayah penelitian. Dengan pendekatan ini, variasi deformasi yang bersifat temporal pada setiap interferogram dapat diringkas menjadi satu peta komposit yang menggambarkan kondisi deformasi rata-rata permukaan selama periode penelitian.

Berdasarkan hasil pengolahan data, sebaran deformasi rata-rata permukaan di wilayah penelitian didominasi oleh kelas stabil dengan nilai deformasi $0,224 < |D| \leq 0,268$ m yang mencakup sebagian besar area penelitian. Dominasi kelas stabil ini menunjukkan bahwa secara umum perubahan permukaan yang terjadi selama periode pengamatan berada pada tingkat deformasi menengah dan relatif seragam. Selain itu, kelas sangat stabil dengan nilai deformasi $|D| \leq 0,224$ m juga teridentifikasi cukup luas, terutama pada beberapa bagian wilayah yang secara konsisten menunjukkan perubahan deformasi yang kecil pada sebagian besar interferogram.

Kelas kurang stabil dengan nilai deformasi $0,268 < |D| \leq 0,283$ m muncul secara terbatas dan tersebar secara lokal di beberapa bagian wilayah penelitian. Area dengan kelas ini tidak membentuk pola sebaran yang luas dan cenderung bersifat terisolasi. Sementara itu, kelas tidak stabil dengan nilai deformasi $|D| > 0,283$ m hanya dijumpai pada area yang sangat kecil dan tidak mendominasi sebaran deformasi rata-rata permukaan, sehingga kontribusinya terhadap kondisi deformasi regional secara keseluruhan relatif kecil.



Gambar 4. 15 Peta Rata Rata Deformasi

4.8 Analisis Korelasi Geologi Terhadap Deformasi Permukaan

Analisis korelasi antara deformasi permukaan hasil InSAR dan kondisi geologi dilakukan menggunakan metode zonal statistics, yaitu dengan menghitung nilai deformasi rata-rata (mean displacement) pada setiap satuan formasi geologi. Pendekatan ini umum digunakan untuk menghubungkan respon deformasi dengan karakteristik litologi dan struktur batuan, terutama pada wilayah vulkanik aktif maupun pascavulkanik.

Gambar 4.16 Peta Zona Statistik Korelasi Geologi memperlihatkan peta zonasi statistik deformasi yang dioverlay dengan peta geologi regional. Secara spasial terlihat bahwa zona dengan deformasi lebih tinggi berasosiasi dengan satuan batuan gunungapi, sedangkan deformasi relatif lebih rendah dijumpai pada satuan endapan aluvial dan danau. Pola ini menunjukkan bahwa variasi deformasi permukaan dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat, bukan semata-mata oleh noise atau kesalahan pengolahan InSAR.

Hasil zonal statistics dirangkum pada Tabel 4.1 Hasil Zona Statistik Parameter Geologi, yang menunjukkan nilai deformasi rata-rata masing-masing formasi geologi. Formasi Qla (Aluvial dan Endapan Danau) memiliki nilai deformasi rata-rata sekitar 0,26 m, diikuti oleh Formasi Qdm (Batuan Gunungapi Dieng) sekitar 0,27 m. Nilai deformasi meningkat pada Formasi Qjyf (Batuan Gunungapi Jembangan) dengan rata-rata sekitar 0,29 m, dan mencapai nilai tertinggi pada Formasi Qjmf dengan nilai lebih dari 0,30 m, yang diklasifikasikan sebagai zona relatif tidak stabil.

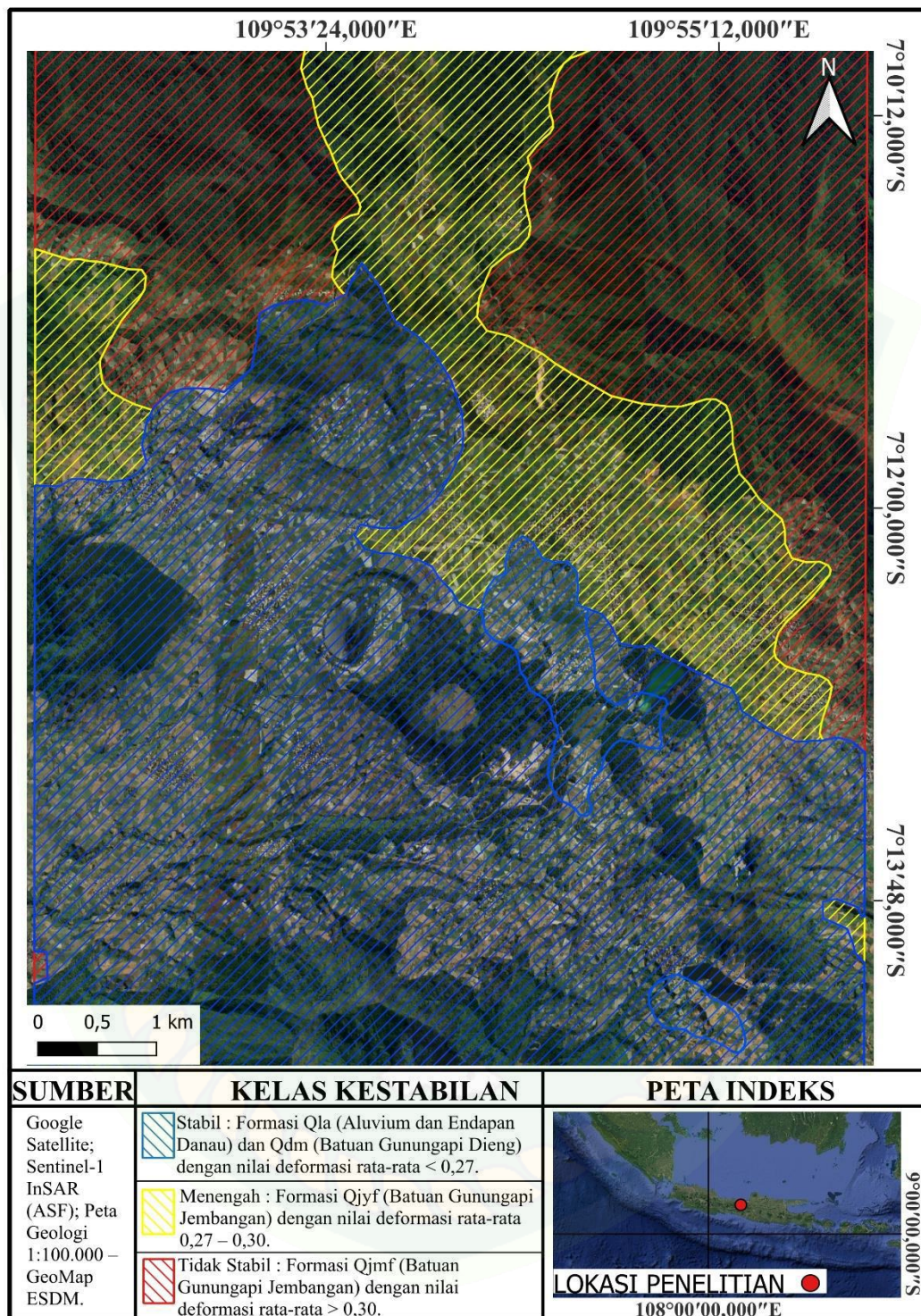
Tabel 4. 2 Hasil Zona Statistik Parameter Geologi

Litologi Utama	Umur	Mean Deformasi (m)	Kelas Kestabilan
Alluvial dan Endapan Danau	Kuarter	0,261	Stabil
Batuan Gunungapi Dieng	Kuarter	0,267	Stabil
Batuan Gunungapi Jembangan	Kuarter	0,292	Menengah
Batuan Gunungapi Jembangan	Kuarter	0,303	Tidak Stabil

Perbedaan deformasi antar formasi ini dapat dijelaskan berdasarkan sifat fisik dan mekanik batuan. Endapan aluvial (Qla) umumnya tersusun oleh material lepas berukuran halus hingga kasar dengan deformasi yang cenderung homogen dan beramplitudo kecil, terutama pada kondisi topografi relatif landai. Sebaliknya, batuan gunungapi tersusun atas lava, breksi, dan tuf yang memiliki tingkat rekahan tinggi serta heterogenitas litologi, sehingga lebih sensitif terhadap perubahan tegangan dan proses deformasi kecil yang terakumulasi.

Selain faktor litologi, struktur geologi seperti rekahan, sesar, dan zona lemah juga berperan penting dalam mengontrol deformasi permukaan. Studi InSAR menunjukkan bahwa zona batuan vulkanik yang terdeformasi sering kali merepresentasikan respons elastik maupun inelastik batuan terhadap tekanan fluida, perubahan beban, atau proses tektonik regional. Oleh karena itu, nilai deformasi yang lebih tinggi pada Formasi Qjmf dan Qjyf tidak secara langsung menunjukkan kegagalan lereng, tetapi mencerminkan karakter mekanik batuan gunungapi yang lebih responsif terhadap deformasi.

Berdasarkan klasifikasi kestabilan yang digunakan pada penelitian ini, deformasi rata-rata $< 0,27$ m dikategorikan sebagai relatif stabil, nilai $0,27-0,30$ m sebagai zona menengah, dan $> 0,30$ m sebagai zona relatif tidak stabil. Klasifikasi ini sejalan dengan pendekatan empiris dalam studi deformasi permukaan berbasis InSAR pada wilayah vulkanik dan geoteknik regional (Ferretti dkk., 2011). Dengan demikian, korelasi antara deformasi permukaan dan formasi geologi yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan tidak bersifat spekulatif.



Gambar 4. 16 Peta Zona Statistik Korelasi Geologi

4.9 Korelasi Deformasi Permukaan dengan Tutupan Lahan

Analisis korelasi antara deformasi permukaan dan tutupan lahan dilakukan untuk memahami pengaruh karakter permukaan terhadap nilai deformasi hasil InSAR. Pendekatan yang digunakan adalah zonal statistics, dengan menghitung nilai rata-rata deformasi (mean LOS displacement) pada setiap kelas tutupan lahan yang diperoleh dari Esri Land Cover dan citra Google Satellite. Hasil analisis ini kemudian dibandingkan dengan peta deformasi rata-rata dari 14 interferogram untuk mengidentifikasi pola hubungan spasial antara jenis tutupan lahan dan tingkat kestabilan permukaan.

Secara umum, perbedaan nilai deformasi antar kelas tutupan lahan mencerminkan variasi sifat fisik permukaan, tingkat aktivitas manusia, serta kondisi geologi dan geomorfologi yang menyertainya. Tutupan lahan tertentu cenderung menunjukkan deformasi yang lebih tinggi akibat rendahnya kekompakan material permukaan, tingginya gangguan antropogenik, atau pengaruh proses alami seperti pelapukan dan pergerakan tanah.

Tabel 4. 3 Zona Statistik Parameter Tutupan Lahan

Kelas Tutupan Lahan	Rata-rata Deformasi (m)	Klasifikasi Kestabilan
Permukiman & Infrastruktur	0,254	Stabil
Pertanian Lahan Kering	0,292	Tidak Stabil
Danau / Telaga	0,276	Menengah
Semak / Vegetasi Rendah	0,267	Stabil
Lahan Terbuka Vegetatif	0,282	Tidak Stabil
Hutan Pegunungan	0,278	Menengah

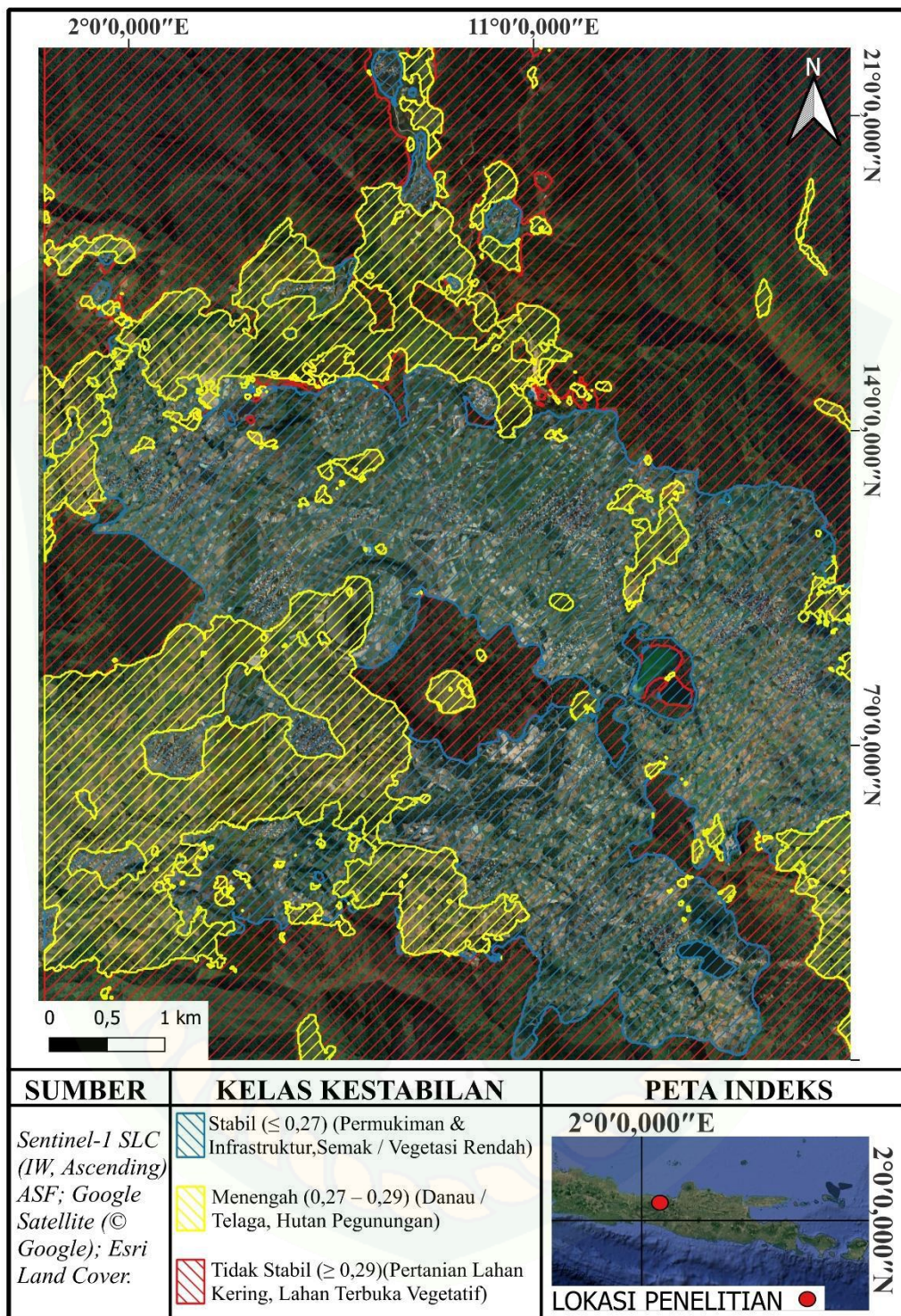
Permukiman dan infrastruktur menunjukkan nilai deformasi rata-rata sekitar 0,254 m dan dikategorikan sebagai stabil. Kondisi ini mencerminkan permukaan yang relatif telah mengalami pemadatan akibat keberadaan bangunan, jalan, dan fasilitas pendukung lainnya sehingga pergerakan tanah lebih terbatas. Deformasi

yang terdeteksi pada kelas ini umumnya bersifat kecil dan dapat dipengaruhi oleh beban struktur serta perubahan mikro pada permukaan, namun secara umum tidak menunjukkan indikasi ketidakstabilan yang signifikan.

Pertanian lahan kering memiliki nilai deformasi rata-rata tertinggi, yaitu sekitar 0,292 m, sehingga diklasifikasikan sebagai tidak stabil. Tingginya nilai deformasi pada kelas ini berkaitan dengan aktivitas pengolahan lahan yang intensif, perubahan kadar air tanah akibat siklus tanam, serta rendahnya kekompakan material permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan respons deformasi yang lebih besar dan lebih dinamis dibandingkan kelas tutupan lahan lainnya.

Danau atau telaga menunjukkan nilai deformasi rata-rata sekitar 0,276 m dan termasuk dalam kategori menengah. Interpretasi deformasi pada kelas ini perlu dilakukan dengan kehati-hatian karena permukaan air umumnya memiliki koherensi rendah pada data InSAR. Nilai deformasi yang terukur lebih merepresentasikan perubahan pada area sekitar badan air dibandingkan deformasi langsung pada permukaan air itu sendiri. Semak atau vegetasi rendah memiliki nilai deformasi rata-rata sekitar 0,267 m dan dikategorikan sebagai stabil. Tutupan vegetasi rendah umumnya menutupi permukaan tanah yang relatif homogen dan tidak banyak mengalami gangguan aktivitas manusia. Kondisi ini menyebabkan deformasi yang terdeteksi cenderung kecil dan tersebar merata, mencerminkan kestabilan relatif pada kelas tutupan lahan ini.

Lahan terbuka vegetatif menunjukkan nilai deformasi rata-rata sekitar 0,282 m dan diklasifikasikan sebagai tidak stabil. Area ini umumnya terdiri dari tanah terbuka dengan tutupan vegetasi yang jarang, sehingga lebih rentan terhadap erosi, perubahan kelembapan tanah, dan pergerakan tanah dangkal. Hutan pegunungan memiliki nilai deformasi rata-rata sekitar 0,278 m dan termasuk dalam kategori menengah. Meskipun vegetasi yang rapat dapat menurunkan tingkat koherensi sinyal InSAR, deformasi yang terdeteksi pada kelas ini umumnya mencerminkan proses alami seperti pelapukan lereng, pergerakan tanah lambat, serta pengaruh kondisi geomorfologi dan struktur geologi di daerah pegunungan.



Gambar 4. 17 Peta Zona Statistik Korelasi Tutupan Lahan

4.10 Korelasi Deformasi Permukaan dengan Kelerengan

Berdasarkan hasil analisis zonal statistics antara peta deformasi rata-rata interferogram dengan peta kelerengan, diperoleh hubungan yang jelas antara besarnya nilai deformasi dan kelas kemiringan lereng di wilayah penelitian. Secara umum, nilai deformasi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kemiringan lereng, yang mencerminkan pengaruh kondisi geomorfologi terhadap kestabilan permukaan.

Pada kelas lereng landai (0–15%), nilai deformasi rata-rata relatif rendah dengan nilai mean sekitar 0,265 m. Area ini umumnya berada pada zona morfologi dataran hingga perbukitan rendah yang secara mekanik lebih stabil. Lereng yang landai memiliki gaya gravitasi yang kecil serta akumulasi tegangan geser yang rendah, sehingga pergerakan massa tanah atau batuan relatif terbatas. Kondisi ini menyebabkan deformasi permukaan yang terekam oleh InSAR cenderung kecil dan lebih homogen.

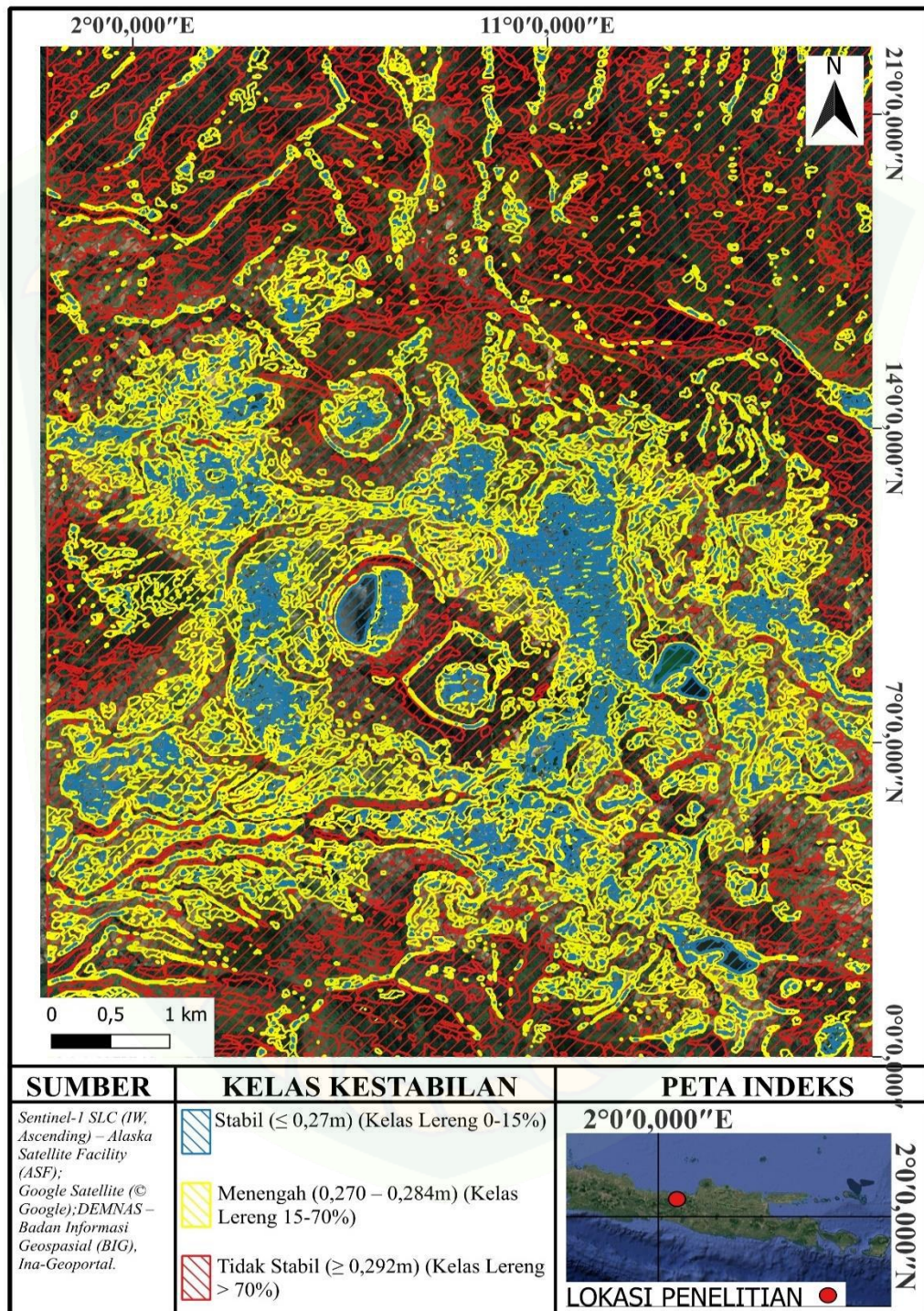
Pada kelas lereng menengah (15–70%), nilai deformasi rata-rata menunjukkan peningkatan dengan nilai mean sekitar 0,270–0,273 m. Lereng pada kelas ini mulai mengalami peningkatan komponen gaya geser akibat gravitasi, terutama pada material vulkanik yang telah mengalami pelapukan. Selain itu, variasi litologi dan struktur geologi pada zona lereng menengah dapat memicu deformasi diferensial yang terekam sebagai nilai deformasi sedang. Hal ini menunjukkan bahwa kestabilan permukaan pada kelas lereng ini bersifat transisional antara stabil dan kurang stabil.

Sementara itu, pada kelas lereng curam hingga sangat curam (>70%), nilai deformasi rata-rata merupakan yang tertinggi dengan nilai mean mencapai sekitar 0,283–0,292 m. Lereng curam memiliki potensi ketidakstabilan yang tinggi akibat dominasi gaya gravitasi, kondisi material yang kurang terkonsolidasi, serta kemungkinan keberadaan bidang lemah seperti rekahan, sesar, atau zona alterasi hidrotermal. Kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan pergerakan permukaan yang lebih intens, sehingga terekam sebagai deformasi yang lebih besar pada hasil analisis InSAR.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kelerengan merupakan faktor geomorfologi yang berpengaruh signifikan terhadap besarnya deformasi permukaan di wilayah penelitian. Pola peningkatan deformasi seiring bertambahnya kemiringan lereng sejalan dengan konsep kestabilan lereng dalam geoteknik dan geomorfologi, di mana lereng yang lebih curam memiliki tingkat kestabilan yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap deformasi.

Tabel 4. 4 Zona Statistik Korelasi Parameter Kelerengan

Kelas Kelerengan	Deformasi (m)
Datar 0–5%	0,2653
Sangat Landai 5–15%	0,2692
Landai 15–30%	0,2705
Agak Curam 30–50%	0,2732
Curam 50–70%	0,2735
Sangat Curam 70-140% (Sangat Curam)	0,2920
Terjal >140%	>0,2920



Gambar 4. 18 Peta Zona Statistik Korelasi Kelerengan

4.11 Analisis Kestabilan Wilayah Berdasarkan Integrasi Parameter

Subbab ini menyajikan hasil analisis kestabilan wilayah yang diperoleh dari integrasi beberapa parameter utama, yaitu deformasi permukaan, tutupan lahan, kondisi geologi, dan kemiringan lereng. Masing-masing parameter terlebih dahulu diklasifikasikan dan diberi skor berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap kestabilan wilayah, kemudian seluruh parameter tersebut dioverlay untuk menghasilkan peta kestabilan wilayah secara menyeluruh.

Tahapan awal analisis dilakukan melalui skoring setiap parameter sesuai dengan hasil pengolahan data dan klasifikasi yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Parameter deformasi diklasifikasikan berdasarkan nilai deformasi rata-rata hasil pengolahan interferogram Sentinel-1, parameter tutupan lahan diklasifikasikan berdasarkan jenis penutup permukaan, parameter geologi berdasarkan jenis dan karakteristik litologi, serta parameter kemiringan lereng berdasarkan kelas kelerengan hasil analisis DEM. Skema skoring masing-masing parameter disajikan pada tabel-tabel skoring, di mana skor 3 menunjukkan kondisi paling stabil, sedangkan skor 1 menunjukkan kondisi paling tidak stabil.

Tabel 4. 5 Skoring Parameter Deformasi

Klasifikasi	Deformasi Rata-rata (m)	Skor
Rendah	$D \leq 0,27$	3
Menengah	$0,27 < D \leq 0,29$	2
Tinggi	$D > 0,29$	1

Tabel skoring parameter deformasi menyajikan pengelompokan nilai deformasi permukaan hasil analisis InSAR ke dalam tiga kelas kestabilan, yaitu rendah, menengah, dan tinggi. Klasifikasi ini didasarkan pada nilai deformasi rata-rata yang diperoleh dari peta deformasi rata-rata, di mana nilai deformasi yang lebih kecil menunjukkan kondisi permukaan yang relatif stabil. Zona dengan nilai deformasi $\leq 0,27$ m dikategorikan sebagai kelas rendah dan diberikan skor tertinggi

karena menunjukkan perubahan permukaan yang minimal. Sebaliknya, zona dengan nilai deformasi $> 0,29$ m diklasifikasikan sebagai kelas tinggi dengan skor terendah karena mengindikasikan adanya pergerakan permukaan yang lebih signifikan dan berpotensi tidak stabil.

Tabel 4. 6 Skoring Parameter Geologi

Klasifikasi	Formasi Geologi	Skor
Rendah	Qla (Endapan aluvial & danau)	3
Menengah	Qdm (Batuan gunungapi Dieng)	2
Tinggi	Qjyf – Qjmf (Batuan gunungapi Jembangan)	1

Tabel skoring parameter geologi menyajikan pengelompokan formasi batuan berdasarkan karakteristik litologi dan tingkat kekompakan batuan. Formasi Qla yang terdiri atas endapan aluvial dan danau dikategorikan sebagai kelas rendah karena meskipun bersifat lepas, wilayah ini menunjukkan nilai deformasi rata-rata yang relatif kecil pada hasil analisis InSAR. Formasi Qdm yang tersusun atas batuan gunungapi Dieng diklasifikasikan sebagai kelas menengah karena memiliki tingkat kekompakan sedang. Adapun formasi Qjyf dan Qjmf yang merupakan batuan gunungapi Jembangan dikategorikan sebagai kelas tinggi karena memperlihatkan nilai deformasi rata-rata yang lebih besar, sehingga menunjukkan kecenderungan kestabilan yang lebih rendah.

Tabel 4. 7 Skoring Parameter Tutupan Lahan

Klasifikasi	Jenis Tutupan Lahan	Skor
Rendah	Permukiman & Infrastruktur	3
Menengah	Danau/Telaga, Semak, Vegetasi Rendah	2
Tinggi	Pertanian Lahan Kering, Lahan Terbuka Vegetatif, Hutan Pegunungan	1

Tabel skoring parameter tutupan lahan menunjukkan pengaruh jenis penutup permukaan terhadap tingkat kestabilan wilayah. Tutupan lahan berupa permukiman dan infrastruktur dikategorikan sebagai kelas rendah dengan skor tertinggi karena umumnya berada pada area yang telah mengalami pemadatan lahan dan memiliki pengendalian drainase yang relatif baik. Kelas menengah terdiri atas danau/telaga serta vegetasi rendah yang masih memungkinkan terjadinya perubahan kelembapan tanah. Sementara itu, tutupan lahan berupa pertanian lahan kering, lahan terbuka vegetatif, dan hutan pegunungan diklasifikasikan sebagai kelas tinggi karena umumnya berada pada area dengan gangguan alami yang lebih besar serta lebih rentan terhadap proses pelapukan dan erosi.

Tabel 4. 8 Skoring Parameter Kelerengan

Klasifikasi	Kelas Kelerengan	Skor
Rendah	0 – 15 %	3
Menengah	15 – 70 %	2
Tinggi	> 70 %	1

Tabel skoring parameter kemiringan lereng mengelompokkan kelas lereng berdasarkan persentase kemiringan yang diperoleh dari data DEM. Lereng dengan kemiringan 0–15% dikategorikan sebagai kelas rendah karena relatif datar dan memiliki potensi deformasi yang kecil. Lereng dengan kemiringan 15–70% diklasifikasikan sebagai kelas menengah karena menunjukkan peningkatan potensi pergerakan massa tanah. Sementara itu, lereng dengan kemiringan lebih dari 70% dikategorikan sebagai kelas tinggi dengan skor terendah karena memiliki tingkat kerentanan yang paling besar terhadap deformasi dan ketidakstabilan lereng. Tabel klasifikasi kestabilan wilayah merupakan hasil integrasi seluruh parameter yang digunakan, yaitu deformasi, tutupan lahan, geologi, dan kemiringan lereng. Setiap parameter diberikan skor yang kemudian dijumlahkan untuk menentukan kelas

kestabilan akhir. Wilayah dengan total skor tertinggi diklasifikasikan sebagai sangat stabil, sedangkan wilayah dengan total skor terendah dikategorikan sebagai tidak stabil. Hasil klasifikasi ini menjadi dasar dalam penyusunan peta kestabilan wilayah yang merepresentasikan kondisi kestabilan secara spasial dan komprehensif.

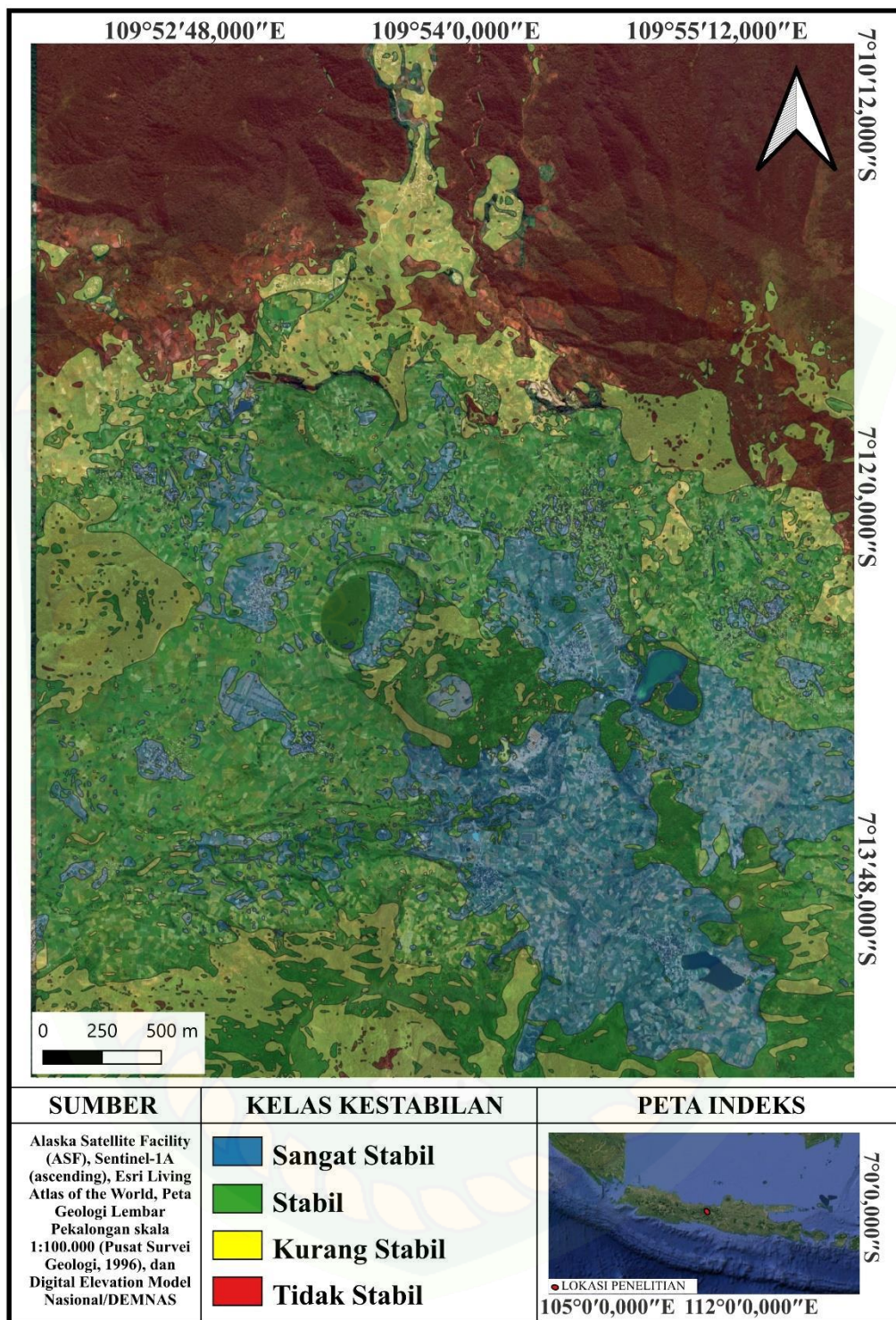
Tabel 4. 9 Skoring Multiparameter

NO	VARIABEL	SKOR	KELAS
1	Deformasi	9-12	SANGAT STABIL
	Tutupan Lahan		
	Geologi		
	Kemiringan Lereng		
2	Deformasi	6-9	STABIL
	Tutupan Lahan		
	Geologi		
	Kemiringan Lereng		
3	Deformasi	3-6	KURANG STABIL
	Tutupan Lahan		
	Geologi		
	Kemiringan Lereng		
4	Deformasi	1-3	TIDAK STABIL
	Tutupan Lahan		
	Geologi		
	Kemiringan Lereng		

Peta kestabilan wilayah disusun berdasarkan integrasi parameter deformasi permukaan, geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng yang telah diberi skor dan diklasifikasikan menjadi empat kelas kestabilan. Kelas sangat stabil (skor 9–12) umumnya tersusun oleh kombinasi parameter dengan skor tinggi, yaitu deformasi rendah ($D \leq 0,27$ m), litologi endapan aluvial/danau (Qla), kemiringan lereng landai (0–15%), serta tutupan lahan berupa permukiman dan infrastruktur. Kombinasi ini menunjukkan kondisi permukaan yang relatif stabil, dengan material yang cukup kompak dan gaya gravitasi yang rendah sehingga potensi pergerakan tanah sangat kecil.

Kelas stabil (skor 6–9) dicirikan oleh kombinasi parameter dengan skor menengah hingga tinggi, seperti deformasi rendah–menengah ($0,27 < D \leq 0,29$ m), litologi batuan gunungapi Dieng (Qdm), kemiringan lereng landai hingga agak curam (0–70%), serta tutupan lahan berupa vegetasi rendah, semak, atau perairan. Kondisi ini masih tergolong stabil, namun mulai menunjukkan potensi perubahan apabila dipengaruhi faktor eksternal.

Kelas kurang stabil (skor 3–6) tersusun oleh kombinasi parameter dengan dominasi skor menengah hingga rendah, yaitu deformasi menengah, litologi yang kurang terkonsolidasi seperti batuan gunungapi Jembangan (Qjvf–Qjmf), kemiringan lereng menengah hingga curam (15–70%), serta tutupan lahan berupa pertanian lahan kering atau lahan terbuka vegetatif. Kondisi ini menunjukkan zona transisi yang mulai rentan terhadap deformasi dan pergerakan tanah. Sementara itu, kelas tidak stabil (skor 1–3) didominasi oleh kombinasi parameter dengan skor rendah, yaitu deformasi tinggi ($D > 0,29$ m), litologi lemah dari satuan gunungapi Jembangan, kemiringan lereng curam hingga sangat curam ($>70\%$), serta tutupan lahan berupa lahan terbuka, pertanian kering, atau hutan pegunungan. Kombinasi ini menyebabkan daya dukung lereng rendah dan meningkatkan potensi terjadinya pergerakan tanah secara signifikan. Secara keseluruhan, variasi kelas kestabilan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi skor hasil integrasi parameter, maka kondisi wilayah semakin stabil, sedangkan skor rendah menunjukkan peningkatan kerentanan terhadap deformasi dan ketidakstabilan lereng.



Gambar 4. 19 Peta Kestabilan Wilayah Kerja Panas Bumi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis deformasi permukaan menggunakan metode Two-Pass Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) terhadap data Sentinel-1 periode 2020–2025, serta integrasi dengan parameter geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Deformasi permukaan di WKP Dieng periode 2020–2025 yang dianalisis menggunakan metode Two-Pass DInSAR menunjukkan variasi spasial dan temporal berupa penurunan (*subsidence*) dan pengangkatan (*uplift*) dengan nilai yang berbeda pada setiap periode interferogram.
2. Hasil analisis multitemporal memperlihatkan bahwa pola deformasi tidak bersifat linier antarwaktu, melainkan dipengaruhi oleh interval waktu pasangan citra, nilai baseline, serta kondisi geologi dan lingkungan permukaan di wilayah penelitian
3. Integrasi parameter deformasi, geologi, tutupan lahan, dan kemiringan lereng melalui metode skoring menghasilkan empat kelas kestabilan wilayah, yaitu:
 - Sangat stabil (9–12): deformasi rendah, lereng landai, litologi kompak, dan tutupan lahan stabil.
 - Stabil (6–9): deformasi rendah–menengah dengan kondisi lingkungan yang masih mendukung kestabilan.
 - Kurang stabil (3–6): zona transisi dengan peningkatan deformasi, lereng lebih curam, dan litologi kurang terkonsolidasi.
 - Tidak stabil (1–3): deformasi tinggi, lereng curam, litologi lemah, dan tutupan lahan terbuka.
4. Hasil peta kestabilan wilayah merupakan hasil interaksi multiparameter, sehingga tidak dapat ditentukan oleh satu faktor saja, melainkan kombinasi antara kondisi deformasi, geologi, morfologi, dan penggunaan lahan.

5. Peta kestabilan wilayah yang dihasilkan mampu mengidentifikasi zona rawan dan berpotensi digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan wilayah serta mitigasi risiko, khususnya pada area kurang stabil dan tidak stabil.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan pemanfaatan hasil studi ini adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan deformasi permukaan secara berkelanjutan perlu dilakukan, terutama pada zona yang termasuk dalam kelas kestabilan menengah hingga tinggi, dengan memanfaatkan data Sentinel-1 secara periodik agar perubahan deformasi dapat terdeteksi lebih dini.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode InSAR multitemporal, seperti Persistent Scatterer InSAR (PS-InSAR) atau SBAS-InSAR, untuk memperoleh resolusi temporal yang lebih tinggi dan mengurangi pengaruh dekorelasi temporal.
3. Integrasi dengan data geodetik lapangan, seperti GPS atau leveling, sangat dianjurkan untuk meningkatkan validasi hasil deformasi berbasis InSAR, khususnya pada area kritis yang berdekatan dengan infrastruktur panas bumi.
4. Analisis lanjutan yang melibatkan data reservoir panas bumi, seperti data produksi dan injeksi fluida, dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara deformasi permukaan dan dinamika bawah permukaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaussard, E., Milillo, P., Bürgmann, R., Perissin, D., Fielding, E. J., & Baker, B. (2017). Remote Sensing of Ground Deformation for Monitoring Groundwater Management Practices: Application to the Santa Clara Valley During the 2012–2015 California Drought. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(10), 8566–8582. <https://doi.org/10.1002/2017JB014676>
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthéry, N., & Crippa, B. (2016). Persistent Scatterer Interferometry: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.011>
- Damiano, E., De Cristofaro, M., Brunzo, A., Carrieri, G., Iavazzo, L., Netti, N., & Olivares, L. (2023). The Mechanical Characterization of Pyroclastic Deposits for Landslide Early Warning Systems. *Geosciences*, 13(10), 291. <https://doi.org/10.3390/geosciences13100291>
- Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., & Rucci, A. (2011). A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9), 3460–3470. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2124465>
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis* (Vol. 2). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/0-306-47633-9>
- Harijoko, A., Uruma, R., Wibowo, H. E., Setijadji, L. D., Imai, A., Yonezu, K., & Watanabe, K. (2016). Geochronology and magmatic evolution of the Dieng Volcanic Complex, Central Java, Indonesia and their relationships to geothermal resources. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 310, 209–224. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.12.010>
- Hetland, E. A., Musé, P., Simons, M., Lin, Y. N., Agram, P. S., & DiCaprio, C. J. (2012). Multiscale InSAR Time Series (MInTS) analysis of surface deformation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B2), 2011JB008731. <https://doi.org/10.1029/2011JB008731>

- Li, Z., Zhao, R., Hu, J., Wen, L., Feng, G., Zhang, Z., & Wang, Q. (2015). InSAR analysis of surface deformation over permafrost to estimate active layer thickness based on one-dimensional heat transfer model of soils. *Scientific Reports*, 5(1), 15542. <https://doi.org/10.1038/srep15542>
- Maghsoudi, Y., Van Der Meer, F., Hecker, C., Perissin, D., & Saepuloh, A. (2018). Using PS-InSAR to detect surface deformation in geothermal areas of West Java in Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.001>
- Mandal, S., Mani, A., Lall, A. R., & Kumar, D. (2024). Slope stability assessment and landslide susceptibility mapping in the Lesser Himalaya, Mussoorie, Uttarakhand. *Discover Geoscience*, 2(1), 51. <https://doi.org/10.1007/s44288-024-00055-9>
- Mazzanti, P., Bozzano, F., Cipriani, I., & Prestininzi, A. (2015). New insights into the temporal prediction of landslides by a terrestrial SAR interferometry monitoring case study. *Landslides*, 12(1), 55–68. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0469-x>
- Nurwahyudin, D. S., & Harmoko, U. (2020). Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(3), 111–123. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10032>
- Ramadhan, Y., Channel, K., & Herdianita, N. R. (2013). Hotwater Geochemistry for Interpreting The Condition of Geothermal Reservoir, Dieng Plateau Case, Banjarnegara-Wonosobo Regency, Central Java. *Indonesian Journal on Geoscience*, 8(2), 89–96. <https://doi.org/10.17014/ijog.8.2.89-96>
- Sansosti, E., Manunta, M., Casu, F., Bonano, M., Ojha, C., Marsella, M., & Lanari, R. (2015). Radar remote sensing from space for surface deformation analysis: Present and future opportunities from the new SAR sensor generation. *Rendiconti Lincei*, 26(S1), 75–84. <https://doi.org/10.1007/s12210-015-0440-3>
- Suhadha, A. G., Ardha, M., Chusnayah, F., Ismanto, R. D., Yudanegara, R. A., & Julzarika, A. (2025). REDEFINING SUBSIDENCE AND UPLIFT

HOTSPOTS ON JAVA ISLAND, INDONESIA: MULTI-TEMPORAL
INSAR FOR LARGE-SCALE LAND DEFORMATION MAPPING.

Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 40(4), 137–156.
<https://doi.org/10.17794/rgn.2025.4.11>

- Suhendro, I., Isnain, M. N., & Wahyudi, R. (2022). Rock characteristics of post-caldera volcanoes in Dieng volcanic complex (DVC), Central Java, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 7(4), 151–157. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2022.7.4.10015>
- Tao, Q., Gao, T., Liu, G., & Wang, Z. (2017). Effect of external digital elevation model on monitoring of mine subsidence by two-pass differential interferometric synthetic aperture radar. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(2), 026037. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.026037>
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B., 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. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- Vassileva, M., Giulio Tonolo, F., Riccardi, P., Lecci, D., Boccardo, P., & Chiesa, G. (2017). Satellite SAR interferometric techniques in support to emergency mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 464–477. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1360155>
- Waichel, B. L., De Lima, E. F., Viana, A. R., Scherer, C. M., Bueno, G. V., & Dutra, G. (2012). Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná–Etendeka Continental Flood Basalt Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 215–216, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.12.004>
- Wang, Y., Sun, Y., Cao, X., Wang, Y., Zhang, W., & Cheng, X. (2023). A review of regional and Global scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry*

and Remote Sensing, 206, 311–334.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.11.014>

Yudha, S., Tjahjono, B., & Longhurst, P. (2022). Unearthing the Dynamics of Indonesia's Geothermal Energy Development. *Energies*, 15(14), 5009. <https://doi.org/10.3390/en15145009>



LAMPIRAN



SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU
NOMOR : 0682/KPTS/FT-UIR/SI/2025
TENTANG PENGANGKATAN TIM PEMBIMBING SKRIPSI

DEKAN FAKULTAS TEKNIK

Menimbang :

1. Bahwa untuk menyelesaikan perkuliahan bagi mahasiswa Fakultas Teknik perlu membuat Skripsi.
2. Untuk itu perlu ditunjuk Tim Pembimbing penelitian dan penyusunan Skripsi yang diangkat dengan Surat Keputusan Dekan

Mengingat :

1. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
5. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
6. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
7. Peraturan Universitas Islam Riau Nomor 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

1. Mengangkat saudara-saudara yang namanya tersebut dibawah ini sebagai Tim Pembimbing Penelitian & penyusunan Skripsi Mahasiswa/i Fakultas Teknik Program Studi Teknik Geologi

No	Nama	Pangkat	Jabatan
1.	Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.	Guru Besar	Pembimbing

2. Mahasiswa yang akan dibimbing :

Nama : ARIC ARADHANA OKTAVIAN

NPM : 213610833

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)

Judul Skripsi : ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG

3. Keputusan ini berlaku pada tanggal ditetapkannya dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan dikemudian hari segera ditinjau kembali.

Ditetapkan di : Pekanbaru
Pada tanggal : 21 November 2025
Dekan,



Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T.
NIDN. 990502281



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

الجامعة الإسلامية الرياوية

F.A.3.20.FT

Alamat : Jalan Kaharuddin Nasution No. 113 Marpoan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 67474 Fax. +62761 674834 Email: teknik@uir.ac.id Website: www.uir.ac.id

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	:	ARIC ARADHANA OKTAVIAN
Dosen Pembimbing	:	Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.
NPM	:	213610833
Program Studi	:	Teknik Geologi
Judul Kerja Praktek	:	ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG

No	Hari/ Tanggal Bimbingan	Materi Bimbingan	Hasil/ Saran Bimbingan	Keterangan
1.	24 November 2025	Pembahasan ide dan topik penelitian awal	perbaikan latar belakang	Sudah ditandatangani
2.	26 November 2025	Review Bab I dan Bab II (tinjauan pustaka)	Metode penelitian diperjelas	Sudah ditandatangani
3.	01 Desember 2025	Menyesuaikan metode dengan tujuan penelitian	lengkapi tujuan dan lokasi	Sudah ditandatangani
4.	02 Desember 2025	Finalisasi proposal untuk seminar	Lengkapi daftar pustaka	Sudah ditandatangani
5.	11 Februari 2026	pembahasan mengenai penyempurnaan BAB I (Pendahuluan), khususnya pada bagian latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian.	memperjelas urgensi penelitian mengenai analisis deformasi permukaan serta menambahkan beberapa referensi jurnal terbaru agar landasan penelitian lebih kuat.	Sudah ditandatangani
6.	17 Februari 2026	BAB II (Tinjauan Pustaka).	Perbaikan difokuskan pada penambahan teori yang berkaitan dengan deformasi permukaan, stabilitas wilayah eksplorasi, serta konsep dasar penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian.serta penambahan referensi ilmiah yang lebih relevan.	Sudah ditandatangani

No	Hari/ Tanggal Bimbingan	Materi Bimbingan	Hasil/ Saran Bimbingan	Keterangan
7.	25 Februari 2026	BAB III (Metodologi Penelitian).	Pembahasan meliputi penjelasan alur penelitian, sumber data yang digunakan, serta tahapan pengolahan data deformasi permukaan. metodologi disusun lebih sistematis dan mudah dipahami.	Sudah ditandatangani
8.	27 Februari 2026	BAB IV (Hasil dan Pembahasan).	cara penyajian hasil analisis dalam bentuk peta, grafik, dan interpretasi data agar lebih jelas dan informatif.	Sudah ditandatangani
9.	02 Maret 2026	BAB IV (Hasil dan Pembahasan)	fokus pada interpretasi hasil analisis deformasi permukaan serta keterkaitannya dengan kondisi geologi wilayah penelitian. koreksi pada beberapa bagian pembahasan agar lebih mendalam dan sesuai dengan tujuan penelitian.	Sudah ditandatangani
10.	09 Maret 2026	BAB V (Kesimpulan dan Saran).	penyusunan kesimpulan yang sesuai dengan hasil penelitian serta perbaikan minor pada sistematika penulisan sebelum pengajuan seminar.	Sudah ditandatangani

Pekanbaru, 03 Desember 2025
Ketua Program Studi Teknik Geologi,



BUDI PRAYITNO, S.T., M.T.



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

الْجَامِعَةُ الْإِسْلَامِيَّةُ الرِّيَاضِيَّة

Alamat: Jalan Kahrudin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

BERITA ACARA UJIAN SEMINAR PROPOSAL

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru, tanggal 19 Desember 2025, Nomor: 0195/KPTS/FT-UIR/2025, maka pada hari Kamis, 11 Desember 2025, telah dilaksanakan Ujian Seminar Proposal Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jenjang Studi S1, Tahun Akademik 2025/2026 berikut ini.

Nama : ARIC ARADHANA OKTAVIAN
NPM : 213610833
Judul Skripsi : ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT. GEO DIPa ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG
Waktu Ujian : 11 Desember 2025
Tempat Pelaksanaan Ujian : Ruang Sidang Prodi Teknik Geologi UIR

Dengan keputusan Hasil Ujian Skripsi:
Lulus*/ Lulus dengan Perbaikan*/ Tidak Lulus*
* Coret yang tidak perlu.

Nilai Ujian:
Nilai Ujian Angka = 76 Nilai Huruf = A-

Tim Penguji Skripsi.

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.	Ketua	1.
2.	CATUR CAHYANINGSIH, B.Sc(Hons)., M.Sc.	Anggota	2.
3.	FITRI MAIRIZKI, S.Si., M.Si.	Anggota	3.

Panitia Ujian

Ketua,



Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.
NIDN. 1014028602

Pekanbaru 19 Desember 2025
Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T.
NIDN. 990502281

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM RIAU
NOMOR : 1604/KPTS/FT-UIR/PS/2025
TENTANG PENGANGKATAN TIM PENGUJI SKRIPSI

DEKAN FAKULTAS TEKNIK

Menimbang :

1. Bahwa untuk menyelesaikan studi S.1 bagi mahasiswa Fakultas Teknik Univ. Islam Riau dilaksanakan Ujian Skripsi/Komprehensif sebagai tugas akhir. Untuk itu perlu ditetapkan mahasiswa yang telah memenuhi syarat untuk ujian dimaksud serta dosen penguji.
2. Bahwa penetapan mahasiswa yang memenuhi syarat dan dosen penguji yang bersangkutan perlu ditetapkan dengan Surat Keputusan Dekan.

Mengingat :

1. Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Tinggi
2. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 Tentang Dosen
4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 66 Tahun 2010 Tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan
5. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi
6. Statuta Universitas Islam Riau Tahun 2018
7. Peraturan Universitas Islam Riau Nomor 001 Tahun 2018 Tentang Ketentuan Akademik Bidang Pendidikan Universitas Islam Riau

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

1. Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang tersebut namanya di bawah ini :

Nama : ARIC ARADHANA OKTAVIAN

NPM : 213610833

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)

Judul Skripsi : ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG

2. Penguji Seminar Proposal dan Sidang Skripsi mahasiswa tersebut terdiri dari :

Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.

Sebagai Ketua Merangkap Penguji

CATUR CAHYANINGSIH, B.Sc(Hons)., M.Sc.

Sebagai Anggota Merangkap Penguji

FITRI MAIRIZKI, S.Si., M.Si.

Sebagai Anggota Merangkap Penguji

3. Laporan hasil ujian serta berita acara telah sampai kepada Pimpinan Fakultas selambat-lambatnya 1(satu) bulan setelah ujian dilaksanakan.

4. Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkannya dengan ketentuan bila terdapat kekeliruan dikemudian hari segera ditinjau kembali.

KUTIPAN : Disampaikan kepada yang bersangkutan untuk dapat dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Ditetapkan di : Pekanbaru
Pada tanggal : 11 Desember 2025

Dekan,



Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T.

NIDN. 990502281



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

الْجَامِعَةُ الْإِسْلَامِيَّةُ الرِّيَاضِيَّة

Alamat: Jalan Kaharuddin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Pekanbaru, tanggal 21 April 2026, Nomor: 0065/KPTS/FT-UIR/2026, maka pada hari Jumat, 17 April 2026, telah dilaksanakan Ujian Sidang Akhir Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jenjang Studi S1, Tahun Akademik 2025/2026 berikut ini.

Nama : ARIC ARADHANA OKTAVIAN
NPM : 213610833
Judul Skripsi : ANALISA DEFORMASI PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE InSAR (Interferometric synthetic aperture radar) UNTUK MENILAI STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT. GEO DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG
Waktu Ujian : Jumat, 17 April 2026
Tempat Pelaksanaan Ujian : Ruang Sidang Prodi Teknik Geologi UIR

Dengan keputusan Hasil Ujian Skripsi:
Lulus*/ Lulus dengan Perbaikan*/ Tidak Lulus*
* Coret yang tidak perlu.

Nilai Ujian:
Nilai Ujian Angka = 77 Nilai Huruf = A-

Tim Penguji Skripsi.

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.	Ketua	1.
2.	CATUR CAHYANINGSIH, B.Sc(Hons)., M.Sc.	Anggota	2.
3.	FITRI MAIRIZKI, S.Si., M.Si.	Anggota	3.

Panitia Ujian

Ketua,



Prof. Ir. HUSNUL KAUSARIAN, Ph.D.
NIDN. 1014028602

Pekanbaru 21 April 2026

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



Dr. KURNIA HASTUTI, S.T., M.T.
NIDN. 990502281



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

FAKULTAS TEKNIK

الْجَامِعَةُ الْإِسْلَامِيَّةُ الرَّيَوِيَّةُ

Alamat: Jalan Kaharuddin Nasution No.113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 674674 Email: fakultas_teknik@uir.ac.id Website: www.eng.uir.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

Nomor: 089/A-UIR/5-FT/2026

Fakultas Teknik Universitas Islam Riau menerangkan bahwa Mahasiswa/i dengan identitas berikut:

Nama : **ARIC ARADHANA OKTAVIAN**
NPM : 213610833
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang Pendidikan : Strata Satu (S1)
Judul Skripsi TA : ANALISIS DEFORMASI PERMUKAAN
MENGUNAKAN METODE INSAR UNTUK MENILAI
STABILITAS WILAYAH KERJA PANAS BUMI PT.GEO
DIPA ENERGI (PERSERO) UNIT DIENG

Dinyatakan **Bebas Plagiat**, berdasarkan hasil pengecekan pada Turnitin menunjukkan angka **Similarity Index < 30%** sesuai dengan peraturan Universitas Islam Riau yang berlaku.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,

Ka. Prodi Teknik Geologi

Budi Prayitno, S.T., M.T

Pekanbaru, 12 March 2026 M

23 Romadhōn 1447 H

Staff Pemeriksa

Syatra Safira Anjani, S.Pd