

**ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH DENGAN METODE
*PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRIC SYNTHETIC
APERTURE RADAR (PS-INSAR)* STUDI KASUS WILAYAH
KABUPATEN DEMAK**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Disusun Oleh :
Siti Mufarikah
NIM. 2108026028

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH DENGAN METODE
PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRIC SYNTHETIC
APERTURE RADAR (PS-INSAR) STUDI KASUS WILAYAH
KABUPATEN DEMAK**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Disusun Oleh :
Siti Mufarikah
NIM. 2108026028

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Siti Mufarikah

NIM : 2108026028

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH DENGAN METODE PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR (PS-INSAR) STUDI KASUS WILAYAH KABUPATEN DEMAK

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 13 Februari 2025

Pembuat Pernyataan



Siti Mufarikah
NIM. 2108026028



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof Hamka Kampus III UIN Walisongo Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
Kode Pos 50181 Telp. (024)76433366 Site: <http://www.walisongo.ac.id>

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Analisis Penurunan Muka Tanah Dengan Metode *Presistent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar (PS-INSAR)*
Studi Kasus Wilayah Kabupaten Demak

Nama : Siti Mufarikah

NIM : 2108026028

Program Studi : Fisika

Telah diujikan dalam sidang akhir/Munaqasyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat di terima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 20 Maret 2025

Dewan Penguji

Penguji I

Hartono, M.Sc

NIP. 199009242019031005

Penguji II

Dr. Hamdan Hadi K., M.Sc

NIP. 197703202009121002

Penguji III

Irman Said Prasetyo, M.Sc

NIP. 199112282019031009

Penguji IV

Eti Daenuri Anwar, M.Si

NIP. 197907262009121002

Pembimbing I

Hartono, M.Sc

NIP. 199009242019031006

Pembimbing II

Dr. Andi Fadillah, M.Sc

NIP. 198009152005011006

NOTA DINAS

Semarang, 13 Februari 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Analisis Penurunan Muka Tanah Dengan Metode *Presestent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PS-INSAR) Studi Kasus Wilayah Kabupaten Demak

Nama : Siti Mufarikah

NIM : 2108026028

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing I



Hartono, M.Sc

NIP. 199009242019031006

NOTA DINAS

Semarang, 13 Februari 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Analisis Penurunan Muka Tanah Dengan Metode *Persistent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PS-INSAR) Studi Kasus Wilayah Kabupaten Demak
Nama : Siti Mufarikah
NIM : 2108026028
Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing II
Dr. Andi Faillan, M.Sc
NIP. 198009152005011006

ABSTRAK

Penurunan muka tanah menjadi permasalahan utama di wilayah pesisir, termasuk Kabupaten Demak. Penelitian ini menganalisis laju penurunan muka tanah di Kabupaten Demak menggunakan metode *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) dengan data citra radar Sentinel-1 dari Copernicus ESA periode 2020 sampai 2023. Hasil analisis menunjukkan rata-rata penurunan muka tanah di Kabupaten Demak sebesar 0,30 m. Wilayah dengan potensi banjir rob meliputi Kecamatan Sayung, Kecamatan Wedung, Kecamatan Bonang dan Kecamatan Karangtengah dengan rata-rata penurunan muka tanah berturut-turut 0,35 m, 0,34 m, 0,33 m dan 0,32 m. Keempatnya berbatasan langsung dengan garis pantai, sehingga rentan terhadap intrusi air laut dan banjir rob. Penelitian ini memberikan gambaran tingkat kerentanan wilayah pesisir serta dapat menjadi referensi mitigasi melalui pengelolaan air tanah, perencanaan tata ruang, dan pengendalian aktivitas pemicu subsidensi.

Kata Kunci: PS-InSAR, Penurunan Muka Tanah (PMT), Kabupaten Demak, Banjir Rob.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulisan tugas akhir skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Besar Muhammad SAW, yang menjadi teladan bagi seluruh umat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Penurunan Muka Tanah dengan Metode *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) Studi Kasus Wilayah Kabupaten Demak”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penulis menyadari bahwa penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Alwiyah Nurhayati, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. M. Ardhi Khalif, M.Sc selaku Sekretaris Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
5. Hartono, M.Sc selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
6. Dr. Andi Fadllan, M.Sc selaku Pembimbing II yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
7. Heni Sumarti, M.Sc selaku Wali Dosen penulis yang sudah membimbing penulis dari awal perkuliahan sampai penyelesaian skripsi.
8. Orang tua tercinta, Bapak Maskon dan Ibu Suharni yang memberi dukungan berupa do'a, materi, semangat dan kasih sayang untuk penulis.
9. Kakak dan adik tersayang, Kak Maesaroh, S.Ak dan Adik Tazkiyatul Mirzani yang turut memberi arahan dan dukungan untuk penulis.
10. Terima Kasih kepada Keluarga Besar Madenan yang selalu memberi dukungan serta semangat untuk penulis.

11. Terima Kasih kepada Taufik Fadillah Ramadhan, S.Tr.T yang selalu menemani penulis dalam suka dan duka dari masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
12. Terima Kasih kepada teman seangkatan Fisika 21 sebagai teman seperjuangan dan selalu memberikan semangat dalam perkuliahan.
13. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting.*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan belum mencapai kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari berbagai pihak. Penulis juga berharap bahwa penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca serta semua pihak yang terkait.

Semarang, 13 Februari 2025

Penulis

Siti Mufarikah

NIM. 2108026028

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
NOTA DINAS	iv
NOTA DINAS	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	7
E. Batasan Masalah	8
BAB II LANDASAN TEORI	9
A. Kajian Teori	9
1. Penurunan Muka Tanah	9
2. <i>Radio Detection and Ranging (RADAR)</i>	15
3. <i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	17
4. Sentinel-1.....	30
5. <i>Software SNAP</i>	35

6. <i>Software Qgis</i>	37
B. Kajian Pustaka	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	42
A. Tempat dan Waktu Penelitian	42
B. Alat dan Bahan.....	44
C. Prosedur Penelitian.....	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
A. Hasil Penelitian	53
B. Pembahasan Penelitian.....	68
BAB V PENUTUP.....	78
A. Kesimpulan	78
B. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaruh panjang gelombang terhadap gangguan atmosfer.....	15
Gambar 2.2 Resolusi pada arah Range.....	18
Gambar 2.3 Geometri SAR Interferometri.....	22
Gambar 2.4 Ilustrasi hamburan balik didalam sebuah citra SAR (a) Hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR tanpa adanya dominasi dari satu sumber tertentu. (b) Hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR yang dipengaruhi oleh satu atau beberapa sumber yang dominan	27
Gambar 2.5 Geometri Metode PS-InSAR	29
Gambar 2.6 Sentinel-1 <i>Spacecraft</i>	31
Gambar 2.7 Konstelasi Orbit Sentinel-1	31
Gambar 2.8 Orbit <i>Descending</i> dan <i>Ascending</i>	33
Gambar 2.9 Cakupan Jalur Akuisisi Sentinel-1	34
Gambar 3.1 Peta Geologi Kabupaten Demak	42
Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian	45
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR.....	47
Gambar 3.4 Ilustrasi kondisi sistem koordinat (range, azimut) citra.....	48
Gambar 3.5 Ko-regristrasi citra master dan citra slave	49
Gambar 4.1 Citra dan nilai koherensi tahun 2020	56

Gambar 4.2 Citra dan nilai koherensi tahun 2021	57
Gambar 4.3 Citra dan nilai koherensi tahun 2022	57
Gambar 4.4 Citra dan nilai koherensi tahun 2023	58
Gambar 4.5 Citra dan nilai interferogram tahun 2020	59
Gambar 4.6 Citra dan nilai interferogram tahun 2021.....	59
Gambar 4.7 Citra dan nilai interferogram tahun 2022.....	60
Gambar 4.8 Citra dan nilai interferogram tahun 2023.....	60
Gambar 4.9 Citra <i>phase unwrapping</i> tahun 2020	62
Gambar 4.10 Citra <i>phase unwrapping</i> tahun 2021.....	62
Gambar 4.11 Citra <i>phase unwrapping</i> tahun 2022.....	63
Gambar 4.12 Citra <i>phase unwrapping</i> tahun 2023.....	63
Gambar 4.13 Citra penurunan muka tanah tahun 2020	64
Gambar 4.14 Citra penurunan muka tanah tahun 2021.....	65
Gambar 4.15 Citra penurunan muka tanah tahun 2022.....	66
Gambar 4.16 Citra penurunan muka tanah tahun 2023	67
Gambar 4.17 Peta penurunan muka tanah Kabupaten Demak tahun 2020-2023	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor-faktor yang berasosiasi dengan potensi <i>land subsidence</i> di Indonesia.....	12
Tabel 2.2 Faktor potensi banjir rob.....	14
Tabel 2.3 Dekripsi <i>Band</i> Pada Radar	16
Tabel 2.4 Karakteristik Sentinel 1.....	35
Tabel 3. 1 Luas Kecamatan di wilayah Kabupaten Demak...	43
Tabel 3.2 Pelaksanaan Kegiatan.....	44
Tabel 4.1 Dataset Sentinel-1 tahun 2020	55
Tabel 4.2 Dataset Sentinel-1 tahun 2021	55
Tabel 4.3 Dataset Sentinel-1 tahun 2022	54
Tabel 4.4 Dataset Sentinel-1 tahun 2023	54
Tabel 4.5 Data Rata-Rata Laju Penurunan Muka Tanah	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fenomena penurunan muka tanah telah menjadi permasalahan di berbagai kota besar di Indonesia, seperti Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Kota-kota tersebut merupakan pusat metropolitan dengan kepadatan penduduk yang tinggi serta menjadi sentra industri. Secara geologis, wilayah ini berada di atas lapisan tanah aluvial yang sangat rentan terhadap pergerakan. Penurunan muka tanah yang terjadi di wilayah perkotaan padat dapat menjadi masalah serius, terutama di daerah pesisir. Wilayah pesisir lebih rentan terhadap tekanan lingkungan akibat interaksi antara daratan dan laut, yang dapat mempercepat proses penurunan tanah (Ramadhan et al., 2021).

Dampak dari penurunan muka tanah sangat signifikan, baik dari segi infrastruktur, ekonomi, maupun lingkungan. Dalam jangka waktu tertentu, penurunan ini dapat mencapai beberapa meter atau lebih, yang berpotensi merusak berbagai infrastruktur perkotaan, mengganggu stabilitas lahan, serta memengaruhi kehidupan sosial masyarakat. Salah satu faktor utama yang menyebabkan fenomena ini adalah eksplorasi air tanah yang berlebihan,

yang terjadi dalam pola hiperbolik dan berdampak pada kestabilan tanah (Andnur et al., 2022).

Di Pulau Jawa bagian utara, daerah pesisir memiliki populasi yang padat dan menjadi pusat ekonomi yang strategis. Salah satu jalur transportasi utama, Jalan Pantai Utara (Pantura), melintasi wilayah ini dan berperan penting dalam mendukung aktivitas ekonomi nasional. Kabupaten Demak, sebagai salah satu wilayah yang dilalui oleh Jalan Pantura, terbentuk dari endapan tanah aluvial yang relatif baru. Keberadaan bangunan industri dan pemukiman di daerah ini dapat memberikan tekanan tambahan pada tanah aluvial, yang berisiko memicu proses kompaksi dan mempercepat penurunan muka tanah (Masvika et al., 2019).

Kabupaten Demak adalah salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Demak terletak di antara koordinat lintang selatan $6^{\circ}43'26''$ - $7^{\circ}09'43''$ dan bujur timur $110^{\circ}27'58''$ - $110^{\circ}48'47''$. Wilayah ini memiliki jarak terpanjang dari barat ke timur sekitar 49 km dan dari utara ke selatan sekitar 41 km, dengan luas wilayah mencapai sekitar $99.804,129\text{ km}^2$. Secara Administrasi luas wilayah Kabupaten Demak terbagi dalam 14 Kecamatan, 243 desa dan 6 kelurahan (Kemendagri Kabupaten Demak, 2024).

Kabupaten Demak memiliki kondisi geologi yang berbeda antara bagian utara dan selatan. Bagian selatan terdiri dari perbukitan struktural, sementara bagian utara adalah dataran *aluvial*. Di bagian utara, terdapat potensi campuran air asin dan air tawar di dalam sumur gali karena interaksi air tanah dengan berbagai jenis batuan yang ada di daerah tersebut. Air tanah mengalir dari daerah dengan ketinggian yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah, mengikuti pola topografi. Keberagaman jenis batuan di daerah ini menyebabkan variasi dalam proses evolusi hidrokimia air tanah saat berinteraksi dengan batuan tersebut (Munfiah et al., 2013).

Kabupaten Demak, terletak di pesisir utara Jawa Tengah, dikenal sebagai daerah yang sangat rentan terhadap ancaman banjir rob. Masalah ini menjadi ancaman yang semakin serius setiap tahun, berdampak pada kehidupan sosial, ekonomi, dan lingkungan masyarakat. Kondisi ini diperburuk oleh berbagai faktor, seperti kenaikan muka laut akibat perubahan iklim, penurunan muka tanah (*land subsidence*), serta rusaknya ekosistem pantai, termasuk mangrove yang seharusnya menjadi benteng alami dari gelombang laut. Seiring waktu, banjir rob di wilayah ini semakin intensif dan menyebabkan kerugian yang lebih besar. Selain itu, aktivitas manusia

seperti urbanisasi pesisir, pembangunan infrastruktur yang tidak terencana, serta eksplorasi air tanah juga memperburuk dampak dari banjir rob ini (Asrofi et al., 2017).

Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), luas wilayah terdampak banjir rob di Kabupaten Demak mencapai kurang lebih 80.000 hektar, dengan tingkat kerusakan yang meningkat setiap tahun. Dampak sosial dan ekonomi yang dihasilkan sangat signifikan, termasuk kerusakan rumah, lahan pertanian, serta gangguan akses transportasi dan pelayanan publik.

Menurut Dwiakram, *et al.*, (2021) melakukan penelitian studi penurunan muka tanah di Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. Untuk mengamati penurunan muka tanah menggunakan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DinSAR). Data yang digunakan adalah 6 citra satelit Sentinel-1A mode IW yang diambil antara tahun 2017 hingga 2020. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata penurunan muka tanah Kecamatan Sayung adalah $4,55 \pm 1$ cm/tahun. Penerapan metode DinSAR dengan Sentinel-1A di Kecamatan Sayung menemui hambatan, salah satunya nilai koherensi yang rendah pada hasil interferogram. Koherensi yang rendah,

terutama di daerah dengan perubahan muka cepat atau vegetasi lebat, dapat mengurangi akurasi interferogram. Metode DinSAR juga sangat sensitif terhadap perubahan atmosfer seperti kelembaban dan tekanan udara, serta rentan terhadap kesalahan geometri akibat ketidakakuratan pengukuran posisi sensor dan objek. Resolusi spasialnya terbatas pada parameter satelit dan sensor, yang mungkin tidak cukup untuk mendeteksi kecil atau detail lokal. Vegetasi lebat dan area perkotaan dengan bangunan tinggi juga dapat menghambat akurasi pemetaan muka.

Metode lain, seperti PS-InSAR merupakan pengembangan dari metode InSAR dan DInSAR konvensional yang dirancang untuk mengatasi masalah dekorelasi temporal dan geometrik. Teknik ini menggunakan data citra SAR multitemporal yang diambil dalam jangka waktu yang panjang untuk mendeteksi piksel dengan gelombang pantul yang jauh lebih terang dibandingkan sekitarnya (Prasetyo and Subiyanto, 2014). Akurasi metode ini telah diuji melalui perbandingan dengan tiga pengukuran GPS dan *levelling*, antara lain di Chiba, Jepang (Razi et al., 2018), Sumatra Barat, Indonesia (Parapat & Sulistian, 2020), dan di sebuah tambang mineral di India (Dumka et al., 2020).

PS-InSAR lebih cocok untuk penelitian penurunan muka tanah karena lebih tahan terhadap gangguan atmosfer, mampu mengukur perubahan muka tanah yang lambat, dan memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi. Selain itu, PS-InSAR dapat menghasilkan peta penurunan muka tanah yang lebih detail dan akurat dibandingkan metode InSAR dan DinSAR (Chen et al., 2024). Penelitian menggunakan PS-InSAR di luar negeri dan beberapa lokasi di Indonesia menunjukkan metode ini lebih akurat, namun belum ada penelitian yang menggunakan metode ini secara khusus di Kabupaten Demak untuk memantau penurunan tanah jangka panjang dari tahun 2020 sampai 2023.

Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan studi penurunan muka tanah di Kabupaten Demak dengan metode PS-InSAR (*Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar*) untuk memantau laju rata-rata penurunan muka tanah di Kabupaten Demak dari tahun 2020 hingga 2023, serta menganalisis Kecamatan yang memiliki potensi rob, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan perencanaan pembangunan dan mitigasi rob di Kabupaten Demak, yang merupakan salah satu pusat ekonomi penting di pantai utara.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa rata-rata laju penurunan muka tanah dengan metode PS-InSAR dari tahun 2020 hingga 2023 di Wilayah Kabupaten Demak?
2. Kecamatan mana saja di Kabupaten Demak yang memiliki potensi rob akibat penurunan muka tanah?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui hasil rata-rata laju penurunan muka tanah dengan metode PS-InSAR dari tahun 2020 hingga 2023 di Wilayah Kabupaten Demak.
2. Mengetahui Kecamatan di Kabupaten Demak yang mempunyai potensi rob akibat penurunan muka tanah.

D. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak:

1. Sebagai informasi tentang studi metode PS-InSAR yang dapat digunakan untuk mengetahui penurunan muka tanah dengan tingkat akurasi yang tinggi di Wilayah Kabupaten Demak.

2. Sebagai acuan kebijakan perencanaan tata ruang dan lingkungan di Wilayah Kabupaten Demak.
3. Sebagai langkah mitigasi rob setiap Kecamatan yang diketahui mempunyai penurunan muka tanah dan memiliki potensi rob.
4. Sebagai acuan penelitian selanjutnya dengan studi kasus wilayah yang sama dengan metode terbaru.

E. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian meliputi:

1. Penelitian ini difokuskan pada wilayah Kabupaten Demak yang terdampak penurunan muka tanah dalam jangka waktu tahun 2020-2023.
2. Parameter yang diamati adalah laju penurunan muka tanah dengan metode PS-InSAR dan mitigasi rob pada wilayah Kabupaten Demak.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Kajian teori

1. Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan fenomena geologi yang tersebar luas lebih dari 150 negara dan wilayah secara global, salah satu ancaman yang signifikan terhadap pembangunan dan keselamatan perkotaan. Penurunan muka tanah merupakan permasalahan yang serius, terutama jika terjadi di wilayah pesisir. Hal ini disebabkan wilayah pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan baik darat maupun laut. Penurunan muka tanah dikaitkan dengan fenomena lain seperti banjir, keselamatan bangunan, keselamatan kendaraan darat dan kerusakan umum lainnya. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem pengendalian penurunan muka tanah (Akbar & Setiawan, 2022).

Penurunan muka tanah yang secara perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya dapat ditentukan dengan mekanisme periodik. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal

yaitu hanya sebagian kecil muka tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya rongga di bawah muka tanah, biasanya terjadi di daerah yang berkapur (Lorenza et al., 2019).

Fenomena penurunan tanah telah banyak terjadi di beberapa kota besar di Indonesia. Penurunan tanah bisa terjadi secara lokal maupun regional. Kondisi ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain (Whittaker & Reddish., 1998):

- a. Penurunan muka tanah alami yang disebabkan oleh proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, keberadaan rongga di bawah muka tanah, dan sebagainya.
- b. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
- c. Penurunan muka tanah akibat beban berat di atasnya seperti struktur bangunan yang menyebabkan lapisan-lapisan tanah di bawahnya mengalami pemadatan atau konsolidasi, sering disebut juga dengan *settlement*.
- d. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas pembangunan).

Lebih dari 80% penurunan muka tanah di Indonesia disebabkan oleh penggunaan air tanah akibat peningkatan pengembangan sumber daya air. Nilai penurunan muka tanah dapat dihitung secara berkala atau periodik dengan menggunakan teknologi radar. Perhitungan berkala dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata penurunan muka tanah di daerah penelitian. Selain itu, nilai tersebut dapat digunakan sebagai prediksi terjadinya fenomena penurunan muka tanah yang disebabkan oleh berbagai faktor alam dan non-alam. Selanjutnya, pengelolaan dampak dan mitigasi penurunan muka tanah di daerah penelitian dapat dilakukan (Gambolati & Teatini, 2021).

Laju penurunan muka tanah dapat dinyatakan dengan persamaan 2.1 dan 2.2 (Khoirunisa, 2015).

$$\Delta h = \frac{(h_{t_0} - h_{t_1})}{t_1 - t_0} \quad (2.1)$$

$$\overline{\Delta h} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

Δh = Laju penurunan muka tanah (m/tahun)

h_{t_0} = Elevasi awal muka tanah pada waktu t_0

h_{t_1} = Elevasi muka tanah pada waktu t_1

$t_1 - t_0$ = Selisih waktu pengamatan (tahun)

$\overline{\Delta h}$ = Rata-rata penurunan muka tanah

Δt = Selang waktu pengukuran (tahun)

Tabel 2.1 Faktor-faktor yang berasosiasi dengan potensi
land subsidence di Indonesia (Siahaan, 2017)

Proses	Laju Penurunan (m/th)	Pola Spasial	Geologi	Penggunaan Lahan
Kompaksi sedimen berlumpur	<0,01	Regional	Sedimen yang dapat terkompaksi	Semua jenis lahan
Eksplorasi fluida (air tanah, minyak bumi dan gas)	0,10	Regional -patchy	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri, campuran dan pertanian
Pertambangan	0,10	Regional -patchy	Semua jenis sedimen	Industri (Tambang)
Pemanfaatan air tanah	<0,05	Regional -patchy	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri, campuran dan pertanian
Pembebaan sedimen	<0,05	Regional -patchy	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri dan campuran

Berdasarkan Tabel 2.1, pola spasial penurunan muka tanah diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu

regional ($>100 \text{ km}^2$), lokal (10–100 km^2), dan tersebar ($<10 \text{ km}^2$). Kompaksi sedimen yang berumur Holosen terjadi akibat proses pengeringan dan pemanasan endapan organik. Penurunan tanah yang diakibatkan oleh proses ini mempengaruhi area yang luas, terkait dengan kondisi geologi, serta memiliki tingkat penurunan yang konsisten.

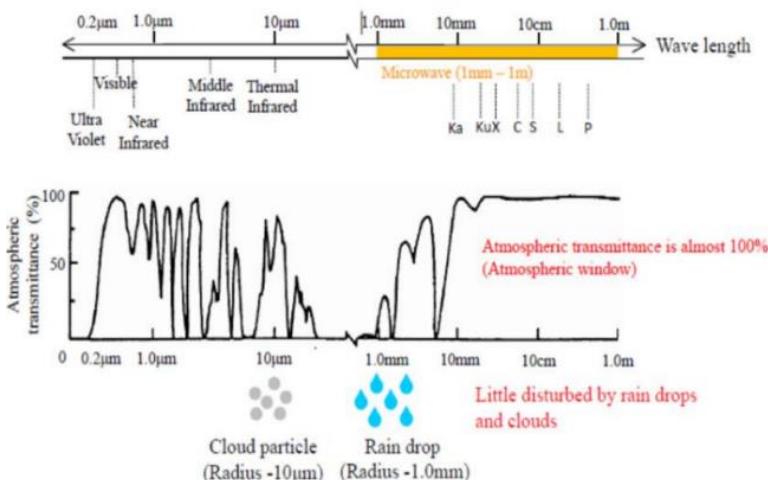
Tabel 2.2 di bawah ini menjelaskan rentang penurunan muka tanah berdasarkan tingkat keparahannya, faktor-faktor utama penyebab, dan dampak signifikan yang dihasilkan. Penurunan tanah dengan tingkat ringan (kurang dari 0,02 m/tahun) biasanya disebabkan oleh konsolidasi tanah alami, sementara tingkat penurunan yang lebih besar (lebih dari 0,20 m/tahun) umumnya dipicu oleh eksplorasi air tanah secara besar-besaran, beban infrastruktur berat, atau perubahan penggunaan lahan yang signifikan. Dampaknya bervariasi mulai dari retakan kecil pada bangunan hingga tenggelamnya kawasan perkotaan, meningkatnya frekuensi banjir rob, dan kerugian ekonomi yang sangat besar. Faktor-faktor signifikan ini menyoroti pentingnya pengelolaan sumber daya tanah dan air secara berkelanjutan untuk mencegah dampak yang lebih parah (Siahaan, 2017).

Tabel 2.2 Faktor potensi banjir rob (Siahaan, 2017).

Rentang Penurunan tanah (m/tahun)	Faktor	Dampak
<0,02	Penurunan alami (konsolidasi tanah)	Tidak signifikan, namun dapat memengaruhi stabilitas struktur dalam jangka panjang.
0,02 – 0,05	Ekstraksi air tanah dalam intensitas rendah	Mulai berdampak pada infrastruktur seperti retakan ringan pada bangunan atau jalan.
0,05 – 0,10	Ekstraksi air tanah dalam intensitas sedang	Kerusakan pada infrastruktur seperti pipa air dan drainase, serta genangan saat hujan.
0,10 – 0,20	Ekstraksi air tanah yang tinggi	Peningkatan risiko banjir, infrastruktur rusak berat, dan gangguan aktivitas ekonomi.
>0,20-0,50	Eksplorasi air tanah besar-besaran	Tenggelamnya wilayah tertentu, peningkatan banjir rob, relokasi penduduk, dan kerugian ekonomi besar.

2. Radio Detection and Ranging (RADAR)

RADAR adalah sistem penginderaan jauh yang bekerja secara aktif, sehingga tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca dan waktu selama proses pengoperasiannya. Sensor pada radar merekam energi yang dipantulkan oleh objek di muka bumi dari sinyal yang dihasilkannya sendiri, sehingga tidak bergantung pada radiasi matahari (Yang, 2019).



Gambar 2.1. Pengaruh panjang gelombang terhadap gangguan atmosfer (A. Schubert, 2015)

Berdasarkan gambar 2.1 menunjukkan dampak panjang gelombang terhadap gangguan atmosfer, sehingga hanya beberapa band yang bisa digunakan untuk pencitraan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan interaksi antara

atmosfer dan muka bumi pada tiap panjang gelombang (A. Schubert, 2015).

Tabel 2.3 Dekripsi *Band* Pada Radar (Rocca, 2014).

Band	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
Ka	0,75 - 1,1	27 - 40
K	1,1 - 1,67	18 - 27
Ku	1,67 - 2,4	12 - 18
X	2,4 - 3,75	8 - 12
C	3,75 - 7,5	4 - 8
S	7,5 - 15	2 - 4
L	15 - 30	1 - 2
P	30 - 100	1 - 0,3

Berdasarkan Tabel 2.3 menunjukkan deskripsi band radar, di mana band yang umum digunakan untuk pencitraan radar adalah band X, C, L, S dan P. Band lainnya biasanya lebih banyak digunakan untuk satelit komunikasi, seperti televisi dan penyiaran radio (Rocca, 2014).

Prinsip kerja radar melibatkan pemancaran gelombang radio yang dipantulkan kembali oleh objek di muka bumi. Gelombang pantulan ini ditangkap oleh sensor dan diproses menjadi citra. Citra terbentuk karena perbedaan intensitas gelombang yang dipantulkan, yang bergantung pada sudut pantul objek (A. Schubert, 2015).

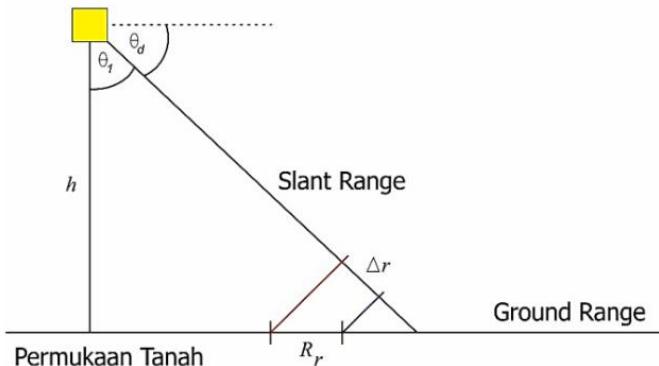
3. Synthetic Aperture Radar (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan teknologi radar *imaging* yang menggunakan teknik pemrosesan sinyal untuk menciptakan efek dari antena besar meskipun antena yang sebenarnya kecil. Pencitraan gelombang mikro dilakukan dengan menggerakkan antena kecil yang mengirimkan pantulan gelombang secara berurutan (ESA, 2012). SAR adalah sistem pencitraan gelombang mikro aktif yang dapat menembus awan, menghasilkan citra muka dengan resolusi tinggi, serta beroperasi baik siang maupun malam. Ini memungkinkan pengukuran jalur perambatan radiasi dengan akurat (Ghaderpour et al., 2024).

Citra SAR terdiri dari piksel dua dimensi, setiap piksel menggambarkan bagian kecil dari muka bumi yang disebut sel resolusi. Piksel ini berisi data berupa bilangan kompleks, yang menyimpan informasi mengenai amplitudo dan *phase* dari *scatterer* dalam sel resolusi, yang merupakan proyeksi muka bumi. Informasi *phase* dimanfaatkan dalam interferometri dari dua citra SAR yang berbeda, sedangkan amplitudo menunjukkan kekuatan pantulan *scattering*. Faktor lain yang mempengaruhi resolusi spasial SAR adalah Waktu

tempuh bolak-balik gelombang dari pemancar ke objek dan kembali ke penerima (τ), *beamwith antenna* (β), dan *look angle* (θ_1).

Wahana Satelit



Gambar 2.2 Resolusi pada arah *Range*
(Campbell & Wynne, 2011)

Berdasarkan gambar 2.2 resolusi dalam *slant range* (Δr), di mana (θ_1) adalah sudut *slant range* terhadap ketinggian, (h) merupakan ketinggian wahana, dan (c) adalah kecepatan cahaya, dapat dinyatakan seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.3.

$$\Delta r = \frac{c\tau}{2} \quad (2.3)$$

Resolusi pada *Ground range* (R_r) ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$R_r = \frac{c\tau}{2} \frac{1}{\cos \theta_d} \quad (2.4)$$

dengan (θ_d) sebagai sudut *slant range* terhadap arah horizontal, resolusi azimuth (R_a) bergantung pada panjang antena (L) dan lebar sudut antena (β), serta jarak *ground range*. Lebar sudut antena dapat ditunjukkan pada persamaan 2.5.

$$\beta = \frac{\lambda}{L} \quad (2.5)$$

Panjang gelombang (λ) yang digunakan oleh sensor radar adalah salah satu faktor penting. Variabel-variaabel utama yang memengaruhi intensitas kecerahan dalam citra radar dapat ditunjukkan menggunakan persamaan 2.6(Campbell & Wynne, 2011).

$$P_r = \frac{\sigma G^2 P_t \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad (2.6)$$

dengan:

P_r = Sinyal yang diterima oleh antena.

σ = Variabel yang mewakili faktor-faktor insidental (seperti penampang lintang radar atau *Radar Cross Section*, RCS).

G = Fungsi penguatan antena (*gain antena*).

P_t = Sinyal yang dipancarkan oleh antena.

λ = Panjang gelombang.

R = Jarak antara antena dan target.

SAR memiliki sifat polarisasi yang memanfaatkan orientasi komponen gelombang elektromagnetik dari sinyal radar saat dipancarkan dan diterima oleh sensor.

Terdapat dua jenis polarisasi, yaitu polarisasi vertikal (V) dan polarisasi horizontal (H). Pada polarisasi searah (*co-polarization* atau *co-pol*), sensor memancarkan dan menerima gelombang dengan polarisasi yang sama, baik horizontal-horizontal (HH) maupun vertikal-vertikal (VV). Selain itu, ada juga polarisasi silang (*cross-polarization* atau *cross-pol*), yaitu ketika gelombang dipancarkan dengan polarisasi horizontal dan diterima dengan polarisasi vertikal (HV) atau sebaliknya (VH) (Kernevez, 2023).

SAR memiliki keunggulan karena dapat bekerja dalam berbagai kondisi cuaca (hujan, kabut, malam hari) dan independen terhadap cahaya matahari, sehingga sangat berguna untuk penginderaan jauh. Ada beberapa metode yang digunakan dalam teknik SAR untuk berbagai aplikasi, antara lain:

a. *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*

Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR) adalah teknik penginderaan jauh yang menggunakan citra dari radar satelit. Teknologi ini menghasilkan gambaran objek di muka bumi dengan mengamati perbedaan *phase* antara dua gelombang radar yang memantul dari objek yang sama, yang dikenal sebagai teknik interferometri. Pada dasarnya, setiap

piksel pada citra SAR terdiri dari *phase* dan amplitudo (Masvika, Adi and Faris, 2019).

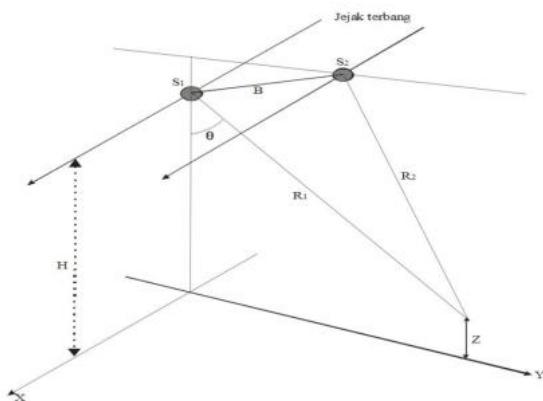
1) Amplitudo (A)

Citra radar terbentuk dari hasil pengukuran amplitudo yang dihasilkan oleh sistem radar. Amplitudo ini menggambarkan kekuatan hamburan objek radar yang diterima oleh pemancar. Semakin kuat hamburan yang diterima, semakin terang area yang ditampilkan pada citra radar, menunjukkan bahwa objek tersebut memiliki muka yang kasar.

Sebaliknya, area yang lebih gelap pada citra yang menandakan objek dengan muka yang halus atau rata. Ketika gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan suatu muka, pantulan gelombang tersebar ke segala arah, dan sebagian pantulan gelombang tersebut ditangkap kembali oleh sensor radar. Kekuatan gelombang pantul dipengaruhi oleh sifat muka objek, seperti kekasaran muka (Febriyanti and Fitri., 2017).

2) Phase (ϕ)

Informasi mengenai *phase* gelombang diperoleh dari setiap piksel pada gambar. Untuk menentukan apakah ada pergerakan pada muka yang memantulkan gelombang, digunakan data *phase* gelombang tersebut (Spellman, 2024).



Gambar 2.3 Geometri SAR Interferometri
(Shodiq et al., 2022)

Berdasarkan gambar 2.3, terdapat dua sensor radar, yaitu (S1) dan (S2), yang mengirimkan gelombang radar ke suatu objek. Tinggi objek tersebut diukur dari bidang referensi dan dinyatakan sebagai (Z). Sementara itu, (R_1) dan (R_2) adalah jarak geometris antara objek dan sensor radar. *Phase* dari kedua sinyal

menggambarkan hubungan *phase* dengan jarak geometris dari sensor ke objek dan dapat ditunjukkan pada persamaan 2.7 dan 2.8 (Zebker & Villasenor, 1992).

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} R_1 \quad (2.7)$$

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} R_2 \quad (2.8)$$

Prinsip dasar InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) atau teknik lanjutan dari metode ini didasarkan pada penggunaan dua sensor citra radar yang berfungsi sebagai pasangan interferometri. Dengan dua citra radar yang diambil pada waktu yang berbeda dari posisi sensor yang sedikit berbeda, teknik ini memungkinkan untuk mengukur perubahan di muka tanah. Nilai koherensi (γ) dari dua citra radar dapat ditunjukkan pada persamaan 2.9 (Zebker & Villasenor, 1992).

$$\gamma = \frac{(\phi_1 \phi_1^*)}{\sqrt{(\phi_1 \phi_1^*)(\phi_2 \phi_2^*)}} \quad (2.9)$$

dengan:

γ = Nilai Koherensi antara 0 (tidak koheren)

hingga 1 (sangat koheren)

ϕ_1 = Beda *phase* citra master

ϕ_2 = Beda *phase* citra *slave* (waktu berbeda)

* = Bilangan konjugasi kompleks

b. *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*

Interferometri diferensial merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan *phase* yang disebabkan oleh topografi dan deformasi. Pada interferometri diferensial, dilakukan pemisahan komponen *phase* yang berbeda (Ramirez et al., 2022). Dengan data DEM (Digital Elevation Model) biasanya digunakan untuk menghilangkan pengaruh topografi pada interferogram. Alternatifnya, interferometri dengan 3 atau 4 citra dapat digunakan untuk menghitung *phase* topografi, terutama pada area tanpa DEM atau di mana DEM yang ada kurang akurat (Kurniawan and Deviantari, 2022).

Dalam interferometri dua lintasan, gangguan pada sistem dan *phase* yang disebabkan oleh atmosfer sering kali diabaikan. Untuk mendapatkan perbedaan *phase* yang hanya diakibatkan oleh, simulasi *phase* topografi dilakukan. Jika baseline topografi dan data sebenarnya diketahui, *phase* topografi dari interferogram dapat disimulasikan

(Abidin H.Z., 2005). Batasan utama interferometri diferensial dua atau lebih citra adalah noise atmosfer, kesalahan model elevasi, dan perbedaan antar rekaman. Kesalahan model elevasi muncul dalam interferogram, dan pada pasangan citra dengan baseline pendek, interferogram menjadi kurang sensitif terhadap topografi dan kesalahan model elevasi (Rahmawan et al., 2016).

Untuk gambar pasangan dengan baseline besar, kesalahan model ketinggian berdampak signifikan dan dapat menyebabkan kesalahan estimasi. Untuk hasil lebih akurat, metode berbasis asumsi statistik *phase* ruang-waktu dan kondisi geometris telah dikembangkan, salah satunya adalah teknik Persistent Scatterers (PS)(Dwiakram et al., 2021).

c. *Persistent Scatterer Synthetic Aperture Radar (PSInSAR)*

Metode PS-InSAR pertama kali diajukan dalam SAR Interferometry Persistent Scatterers journal di International Symposium on Earth Sciences and Remote Sensing yang diadakan di Hamburg, Jerman, pada tanggal 28 Juni-2 Juli 1999 (Fertier et al., 2020). Konsep utama dari penelitian ini adalah penggunaan

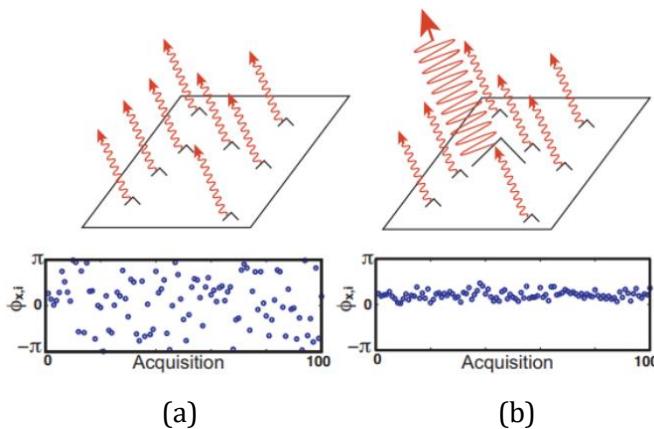
piksel koheren tunggal yang disebut Persistent Scatterers (PS). Untuk memperoleh DEM dengan akurasi pada tingkat sub-meter atau milimeter per tahun, metode ini menggunakan sejumlah besar pasangan citra SAR pada area dengan koherensi tinggi untuk mengukur pergerakan muka tanah (ESA, 2024).

Persistent Scatterer InSAR (PS) dikembangkan untuk mengatasi masalah yang terjadi pada dekorelasi InSAR konvensional, khususnya yang diakibatkan oleh efek temporal dan geometris. Kesalahan yang disebabkan oleh variasi spasial dan temporal mengakibatkan gangguan pada *phase* temporal dan spasial, sehingga menciptakan area yang tidak terlihat dalam dimensi ruang dan waktu. Kondisi ini membuat interpretasi hasil pengukuran dari interferogram seringkali menjadi ambigu dan sulit (Ihda et al., 2015).

Struktur buatan manusia dapat berfungsi sebagai reflektor sudut dan acuan untuk sistem InSAR karena kemampuannya mempertahankan koherensi pusat *phase*. Fungsi reflektor sudut ini adalah untuk mengidentifikasi titik-titik (*scatterers*) dari serangkaian citra InSAR yang tetap koheren

(mempertahankan sinyal hamburan balik) di muka dan seiring waktu. Distribusi *phase* interferometri berada dalam rentang antara π dan $-\pi$ (Fadhlurrohman et al., 2020).

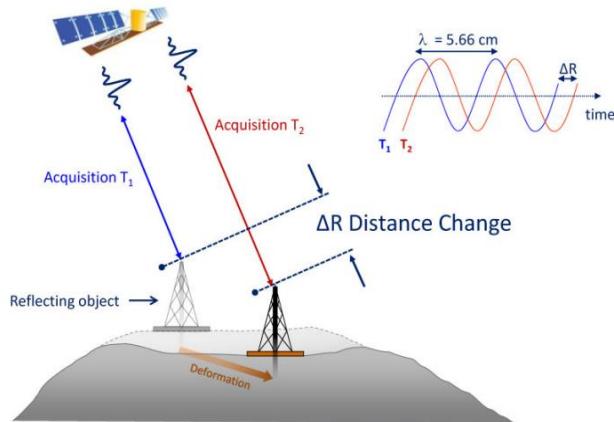
Metode PS InSAR umumnya memerlukan pemrosesan simultan dari 20 atau lebih gambar SAR untuk menghitung nilai amplitudo pada setiap piksel dari semua gambar SAR. Data yang terdiri dari piksel-piksel stabil kemudian dipilih berdasarkan piksel yang memiliki nilai amplitudo relatif tinggi di antara banyak gambar SAR (Ulma, 2021).



Gambar 2.4 Ilustrasi hamburan balik didalam sebuah citra SAR (a) Hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR tanpa adanya dominasi dari satu sumber tertentu. (b) Hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR yang dipengaruhi oleh satu atau beberapa sumber yang dominan (Hooper et al., 2006).

Berdasarkan Gambar 2.4, metode ini menghasilkan sinyal yang relatif tidak terpengaruh oleh fenomena dekorasi-relasi, karena hanya menggunakan satu sinyal hamburan balik dominan untuk setiap piksel. Hal ini memungkinkan pengamatan terhadap fenomena yang sedang dipelajari. Piksel yang dipilih memiliki amplitudo yang stabil atau *phase* yang tetap pada serangkaian citra PS-InSAR. Tujuan dari penggunaan metode PS-InSAR adalah untuk memisahkan sinyal noise dan mengekstrak sinyal. Untuk menghilangkan noise dari *phase* interferogram yang disebabkan oleh kesalahan topografi dan geometri pencitraan, metode PS-InSAR menerapkan koreksi perataan.

Prinsip ini mengasumsikan bahwa semua hamburan balik diproyeksikan ke dalam sistem WGS-84 (DEM) dalam koordinat radar, sehingga memungkinkan perhitungan kontribusi topografi yang kemudian dihilangkan. Dengan demikian, citra SAR relatif tidak terganggu oleh faktor atmosfer, sehingga menghasilkan persistent scatterers serta meminimalkan kesalahan topografi, kesalahan orbital, dan gangguan akibat hamburan balik (Bouraoui and Seyfallah, 2013).



Gambar 2.5 Geometri metode PS-InSAR
(Spellman, 2024)

Berdasarkan gambar 2.5 penerapan metode PS-InSAR dengan menggunakan citra radar, Secara teknis nilai pergeseran titik-titik PS dapat diperkirakan melalui korelasi perubahan *phase* terhadap waktu dengan persamaan 2.10 (Spellman, 2024).

$$\Delta R = \frac{\lambda \Delta \phi}{4\pi} \quad (2.10)$$

Keterangan:

ΔR = Perubahan jarak

λ = Panjang gelombang

$\Delta \phi$ = Perbedaan *phase* citra sinya radar

Pemilihan titik PS dilakukan berdasarkan metode threshold koherensi yang digunakan, namun tidak hanya bergantung pada nilai threshold. Pemilihan titik PS juga mempertimbangkan Amplitude Dispersion Index dan Amplitude Stability Index. Titik yang memiliki Amplitude Dispersion Index di bawah 0,25 cenderung memiliki Amplitude Stability Index yang tinggi, yang memastikan bahwa hanya titik PS dengan noise dekoherensi rendah yang dipilih seperti persamaan 2.11 dan 2.12 (Fárová et al., 2019).

$$D_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (2.11)$$

$$ASI = 1 - \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (2.12)$$

Di mana, σ_A adalah standar deviasi, μ_A adalah nilai rata-rata, dan D_A merupakan indeks dispersi. Ambang batas 0,8 digunakan untuk memilih titik PS berdasarkan nilai ASI (*Amplitude Stability Index*).

4. Sentinel-1

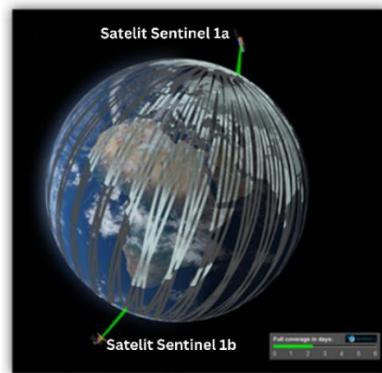
Citra Sentinel-1 adalah data SAR yang menyediakan informasi secara terus-menerus tanpa terpengaruh oleh cuaca, menggunakan C-band dengan frekuensi menengah 5,405 GHz (ESA, 2012). Sentinel-1 diluncurkan pada 3 April 2014. Seri satelit pertama dari

tujuh misi dalam program Copernicus, yang diprakarsai oleh Komisi Eropa (EC) dan *European Space Agency* (ESA) (ESA, 2024).



Gambar 2.6 Sentinel-1 *Spacecraft* (ESA, 2024)

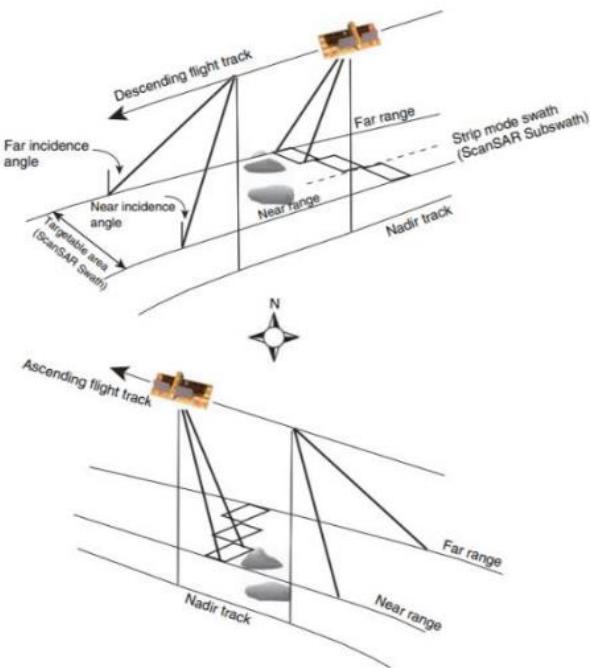
Berdasarkan gambar 2.6 pesawat luar angkasa sentinel 1 memiliki Instrumen C-SAR dirancang dan dikembangkan oleh *EADS Astrium GmbH* dari Jerman. Instrumen ini menangkap data pengukuran pada resolusi tinggi dan sedang untuk pengamatan daratan, zona pesisir, dan es.



Gambar 2.7 Konstelasi Orbit Sentinel-1 (ESA, 2024)

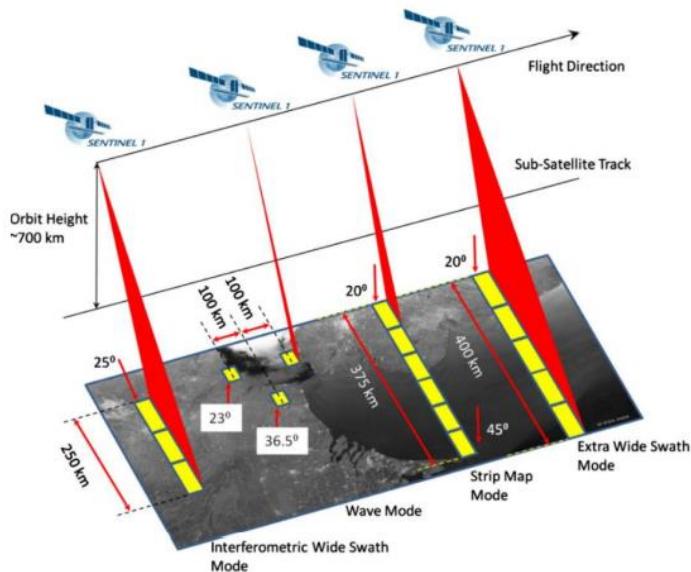
Berdasarkan gambar 2.7 sentinel-1 berada di orbit yang hampir polar, sinkron dengan matahari, dengan siklus pengulangan 12 hari dan 175 orbit per siklus untuk satu satelit. Sentinel-1 dilengkapi dengan sensor C-band dan terdiri dari dua satelit, yaitu Sentinel-1a dan Sentinel-1b, yang beroperasi secara tandem dengan jarak 180° di orbit. Setiap satelit memiliki siklus pengulangan setiap 12 hari. Dengan kombinasi kedua satelit tersebut, sentinel-1 memiliki siklus pengulangan menjadi setiap 6 hari.

Sistem SAR memungkinkan pengamatan objek yang sama dari sudut berbeda dengan kemiringan 23° . Melalui pengamatan muka bumi, diperoleh kombinasi gerakan satelit yang mengorbit sepanjang garis meridian menuju kutub, bersamaan dengan rotasi bumi pada bidang ekuator.



Gambar 2.8 Orbit *Descending* dan *Ascending*
(Simons & Rosen., 2007)

Berdasarkan gambar 2.8 Orbit satelit dapat diamati dari dua sudut, memungkinkan pengukuran vektor secara berkala. Sistem SAR (*Synthetic Aperture Radar*) beroperasi dalam mode lintasan dengan cakupan terbatas, melakukan pencitraan lintasan secara kontinu. Orbit yang bergerak dari Selatan ke Utara (*Ascending*) dan dari Utara ke Selatan (*Descending*) membuat antena SAR biasanya dipasang di sisi yang sama terkait arah vektor kecepatan satelit (Simons & Rosen., 2007).



Gambar 2.9 Cakupan Jalur Akuisisi Sentinel-1
(ESA, 2024)

Berdasarkan gambar 2.9 Sentinel-1 beroperasi dalam empat mode pengambilan data yang berbeda dalam hal resolusi spasial dan cakupan, yaitu *Strip Map* (SM), *Interferometric Wide Swath* (IW), *Extra Wide Swath* (EW), dan *Wave* (WV). Mode *Interferometric Wide Swath* (IW) adalah mode utama untuk pengambilan data di darat. Mode ini mencakup area seluas 250 km dengan resolusi spasial 5 m x 20 m (single look). Mode IW menangkap tiga sub-petak dengan menggunakan Teknik *Terrain Observation with Progressive Scan SAR* (TOPSAR). Mode *Interferometric Wide Swath* (IW) adalah mode

operasi utama untuk sebagian besar aplikasi di darat (ESA, 2014).

Tabel 2.4 Karakteristik Sentinel 1(ESA, 2024).

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization	
				H = (Horizontal)	V = (Vertikal)
Stripmap	20 - 40	5 x 5m	80 km	HH+HV,VH+VV, HH,VV	
Interferometric Wide swath	29 - 46	5 x 20m	250 km	HH+HV,VH+VV, HH,VV	
Extra Wide swath	19 - 47	20 x 40m	400 km	HH+HV,VH+VV, HH,VV	
Wave	22 - 35	5 x 5m	20 x 20 km	HH,VV	

Berdasarkan Tabel 2.4, Sentinel-1 memiliki empat mode pengamatan, dan mode utama yang digunakan untuk pengamatan di daratan adalah *Interferometric Wide Swath* (IW).

5. Software SNAP

SNAP (*Sentinel Application Platform*) adalah perangkat lunak yang dirancang untuk memproses data citra satelit Sentinel, termasuk Sentinel-1 *Toolbox*, Sentinel-2 *Toolbox*, dan Sentinel-3 *Toolbox*. Namun, software ini juga dapat digunakan untuk mengolah data citra satelit lainnya. SNAP merupakan *platform* inovatif

yang dikembangkan dengan pendanaan dari ESA SEOM (ESA, 2024).

Sebagai perangkat lunak yang dapat diakses secara gratis, SNAP memiliki berbagai keunggulan dalam pengolahan citra satelit, di antaranya:

- a. SNAP dapat diakses secara gratis pada sistem operasi Windows, macOS, dan Unix, serta dapat diunduh melalui <http://step.esa.int/main/download/>.
- b. SNAP dikembangkan khusus untuk mendukung Sentinel *Toolboxes*.
- c. Mampu menampilkan citra satelit dengan sangat cepat, bahkan untuk data berukuran besar seperti giga-pixel.
- d. Mendukung pemrosesan data dengan *Graph Processing Framework* (GPF), yang memvisualisasikan alur kerja secara sistematis.
- e. Memiliki manajemen layer yang andal, memungkinkan penambahan serta manipulasi *overlay* berbagai jenis data.
- f. Menyediakan proses reproyeksi dan *orthorectification* dengan tingkat akurasi tinggi.
- g. Dapat digunakan untuk *geo-coding* dan *rectification* dengan memanfaatkan *ground control points* (GCP).

h. Memungkinkan pengunduhan DEM SRTM secara gratis sesuai dengan wilayah yang diinginkan.

Arsitektur *Platform* Aplikasi Sentinel (SNAP) ideal untuk pemrosesan dan analisis Observasi Bumi karena inovasi teknologi seperti, *Extensibility*, *Portability*, *Modular Rich Client Platform*, *Generic EO Data Abstraction*, *Tiled Memory Management*, and a *Graph Processing Framework* (ESA, 2024).

6. *Software Qgis*

QGIS adalah perangkat lunak *open-source* dan gratis yang digunakan dalam sistem informasi geografis. Sebelumnya dikenal sebagai *Quantum GIS*, QGIS merupakan salah satu proyek dari OSGeo, sebuah organisasi nirlaba dan nirpemerintah yang bertujuan untuk menghubungkan komunitas geospasial di seluruh dunia. Meskipun gratis, QGIS tidak bisa dianggap remeh.

Seiring waktu, perangkat lunak ini telah menjadi pilihan utama bagi berbagai kalangan, termasuk profesional, praktisi, dan akademisi. Kemampuannya bahkan dapat bersaing dengan perangkat lunak sistem informasi geografis berbayar. Dengan sifat *open-source*, pengembangannya berlangsung cepat, memungkinkan QGIS untuk menjadi *cross-platform* dan kompatibel

dengan berbagai sistem operasi seperti Windows, macOS, dan Linux (Fernando, 2021).

B. Kajian Pustaka

Beberapa hasil penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian yang dilakukan oleh Dwiakram, Amarrohman and Prasetyo (2021) dengan tujuan menganalisis penurunan muka tanah karena terjadinya kompaksi menggunakan metode DInSAR dengan rentang tahun 2017 sampai 2020. Dalam penelitian ini dihasilkan dengan metode DInSAR, yang menunjukkan penurunan rata-rata $4,55 \pm 1$ cm/tahun, divalidasi dengan data GNSS, dengan standar deviasi 0,68 cm. Analisis menunjukkan korelasi antara laju penurunan tanah dengan pemanatan alami dan dampak penggunaan lahan, terutama dari kawasan industri dan pemukiman. Penggunaan metode DInSAR dengan Sentinel-1A di Kecamatan Sayung menghadapi kendala, seperti rendahnya koherensi pada hasil interferogram. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan metode yang lebih baru, seperti SBAS atau PS-InSAR.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Kasfari et al., (2018) dengan tujuan mengkorelasi penurunan muka tanah dengan penurunan muka air tanah di kota semarang dengan metode GPS. GPS melakukan observasi dan perekaman data pada tujuh titik yang tersebar di Kota Semarang dan telah ditentukan lokasinya. Titik-titik tersebut melibatkan N259, SP05, SMK3, CTRM, K371, dan KOP8, serta titik T447 sebagai titik dasar. Selanjutnya, data yang diperoleh diproses menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6 (2016) untuk menentukan nilai laju penurunan muka tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai laju penurunan muka tanah tertinggi tercatat pada titik KOP8, dengan kisaran sekitar \pm 21,33 cm. Di sisi lain, titik SMK3 menunjukkan nilai laju penurunan terendah, sekitar \pm 2,18 cm. Laju penurunan muka tanah ini mencerminkan perubahan yang dialami oleh Kota Semarang selama empat tahun terakhir (2013-2017). Selanjutnya, hasil laju penurunan tersebut dihubungkan dengan data sekunder seperti tata guna lahan, jumlah penduduk, penggunaan air tanah, dan jenis tanah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Yuwono (2013) dengan tujuan menganalisa geospasial penyebab penurunan muka tanah di kota semarang dari tahun 2007-2012. Dalam penelitian ini, terdapat variasi penurunan muka tanah di Kota Semarang, berkisar antara 0 hingga 13 cm per tahun, dengan kecenderungan peningkatan yang teridentifikasi ke arah timur laut. Beberapa wilayah seperti PRPP, Tanjungmas, Terboyo, dan Kaligawe mengalami penurunan yang signifikan, mencapai 9 hingga 13 cm per tahun. Faktor-faktor yang memengaruhi penurunan muka tanah, termasuk perubahan muka air tanah, pembebahan, dan konsolidasi, dianalisis menggunakan pendekatan geospasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di bagian utara Semarang, terjadi peningkatan yang signifikan dalam perubahan muka air tanah sekitar 1,2 hingga 1,4 meter per tahun, dengan nilai indeks kompresibilitas berkisar antara 0,6 hingga 0,9 dan skala pembebahan berkisar antara 3 hingga 4.

Dalam penelitian ini, metode PS-InSAR diterapkan di wilayah penelitian yang terletak di Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Pengolahan data melibatkan identifikasi sebaran titik *Permanent Scatter* (PS) menggunakan teknik PS-InSAR. Dengan memanfaatkan hasil pengolahan tersebut, potensi

daerah penurunan muka tanah di wilayah Kabupaten Demak dapat diekstraksi, dan analisis dapat dilakukan terkait nilai penurunan muka tanah tertinggi dan terendah.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa kesamaan dan perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan. Meskipun tujuannya sama, yaitu mengidentifikasi penurunan muka tanah selama rentang waktu tertentu, perbedaan utamanya terletak pada metode penelitian. Penelitian ini akan difokuskan pada penerapan metode PS-InSAR. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan serta mengidentifikasi penurunan muka tanah dan mitigasi bencana serta acuan kebijakan perencanaan tataruang di wilayah Kabupaten Demak.

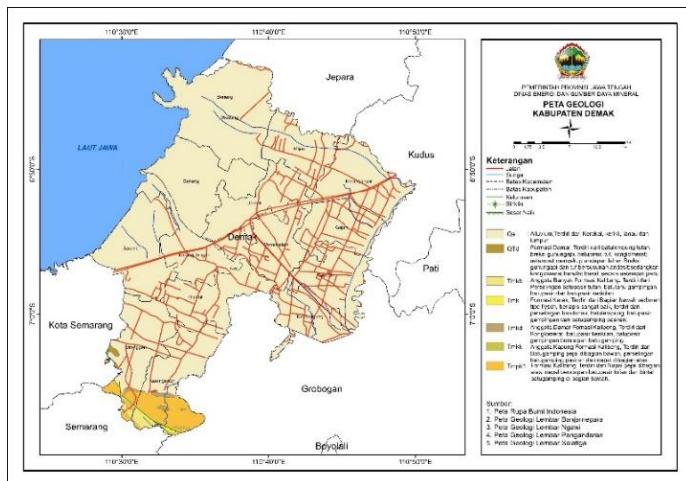
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini mengambil Wilayah Kabupaten Demak, Jawa Tengah dengan luas wilayah sekitar 99.804,129 km². Kabupaten Demak terletak di antara koordinat 6°43'26" hingga 7°09'43" Lintang Selatan dan 110°27'58" hingga 110°48'47" Bujur Timur.



Gambar 3.1 Peta Geologi Kabupaten Demak
(Kemendagri Kabupaten Demak, 2024)

Berdasarkan gambar 3.1 Kondisi geologi regional Kabupaten Demak terletak di Dataran Alluvial Jawa Bagian Utara dan Zona Kendeng, berupa antiklinorium

sepanjang 250 km, lebar 20 km, dan ketinggian sekitar 500 meter (Bemmelen, 1949).

Kabupaten Demak memiliki tekstur tanah halus (lanau) dan sedang (lempung), dengan mayoritas wilayah yang datar. Ketinggian tanah bervariasi antara 0 hingga 100 meter di atas muka laut. Kabupaten Demak membentang 49 km dari barat ke timur dan 41 km dari utara ke selatan dengan bagian setiap Kecamatan seperti tabel 3.1.

Tabel 3.1 Luas Kecamatan di wilayah Kabupaten Demak.

No	Kecamatan	Luas Wilayah (Km ²)
1	Wedung	13.081,415
2	Mijen	5.378,523
3	Karang Tengah	5.607,256
4	Bonang	8.815,954
5	Demak	6.257,647
6	Sayung	8.708,623
7	Wonosalam	6.397,561
8	Kebonagung	4.638,943
9	Dempet	6.431,917
10	Gajah	5.357,004
11	Karanganyar	7.446,292
12	Guntur	6.252,158
13	Mranggen	7.541,071
14	Karangawen	8.750,286

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada tahapan sebagai berikut.

Tabel 3.2 Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan
Persiapan Penelitian	Juli 2024
Pengambilan data sekunder	Agustus 2024
Pengolahan data	September 2024
Analisis data	Oktober-Desember 2024

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Satu unit laptop untuk mengolah data dengan perangkat lunak
2. *Software SNAP (Sentinel Application Platform)*

Software SNAP (Sentinel Application Platform) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memproses dan menganalisis data satelit Sentinel, yang dapat diperluas fungsionalitasnya dengan menggunakan *plugin* tambahan *SNAPHU (Statistical-Cost Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping)* untuk melakukan *phase unwrapping* interferometri pada data radar.

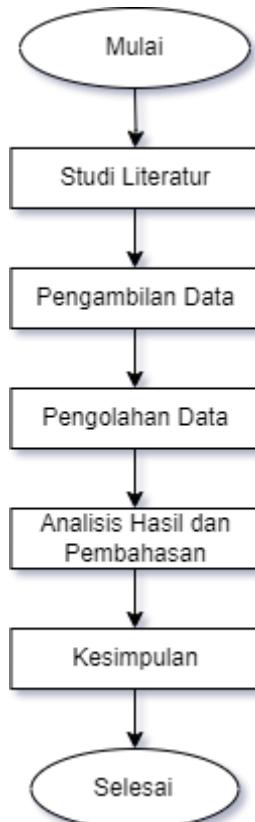
3. *Software QGIS (Quantum GIS)*

Software Quantum GIS adalah perangkat lunak Sistem Informasi Grafis (SIG) untuk dapat memvisualisasikan,

mengelola, dan menganalisis data spasial yang berkaitan dengan data geografis.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan mengikuti dalam diagram alir pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Prosedur Penelitian

Berdasarkan gambar 3.2 diagram alir prosedur penelitian dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Studi Literatur

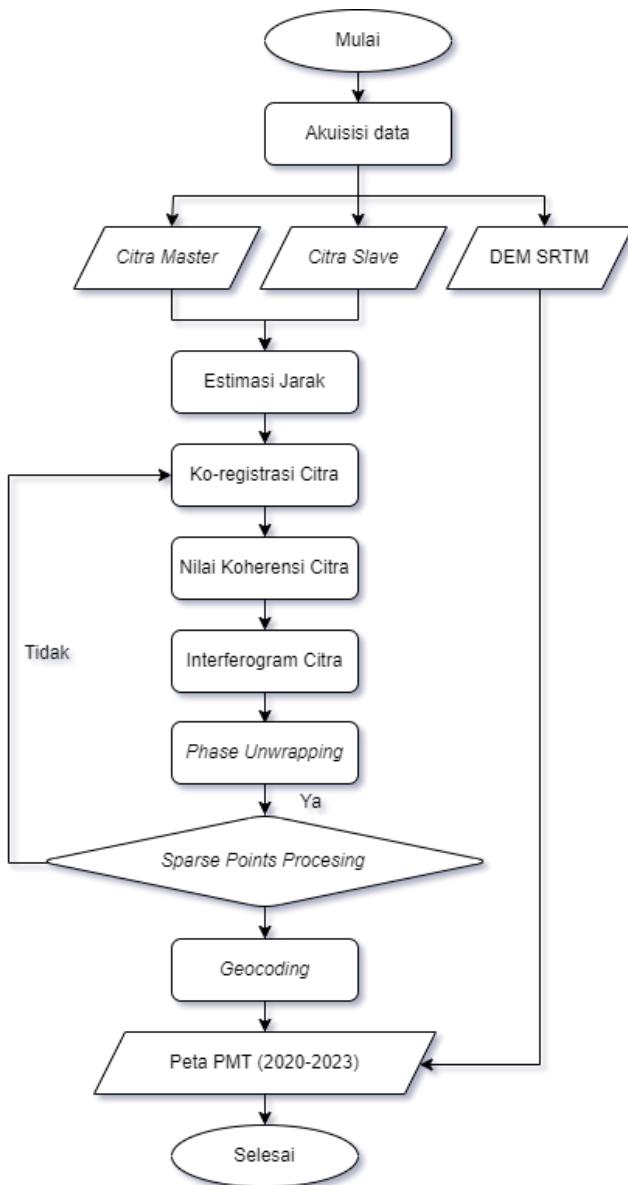
Tahapan ini berisi pencarian literatur atau referensi terkait dengan penelitian. Hal ini dimasukan agar pelaksanaan penelitian sesuai rencana

2. Pengambilan Data

Tahap ini diambil data sekunder dari *website* Copernicus *European Space Agency* (ESA) citra SAR Sentinel-1 pada wilayah Kabupaten Demak, Jawa Tengah dengan rentang waktu dari tahun 2020 sampai 2023.

3. Pengolahan Data

Tahapan ini pengolahan data dengan menggunakan *Software* SNAP dan Data Sentinel-1 dengan metode PS-InSAR. Adapun pengolahannya dinyatakan dalam diagram alir pada gambar 3.3.

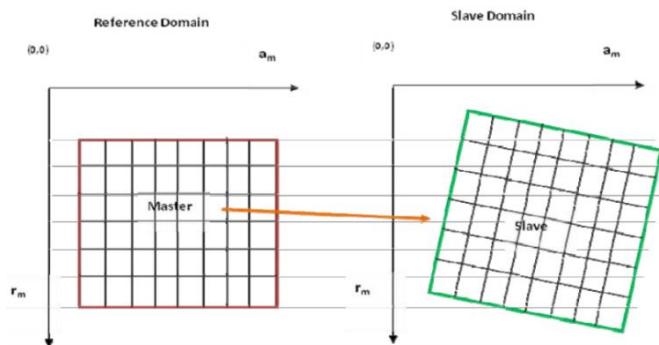


Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR

Diagram alir pada gambar 3.3 menjelaskan proses akuisisi data yang terdiri dari 2 data, yaitu citra master dan slave dan DEM SRTM sebagai berikut.

a. Citra Master dan Citra Slave

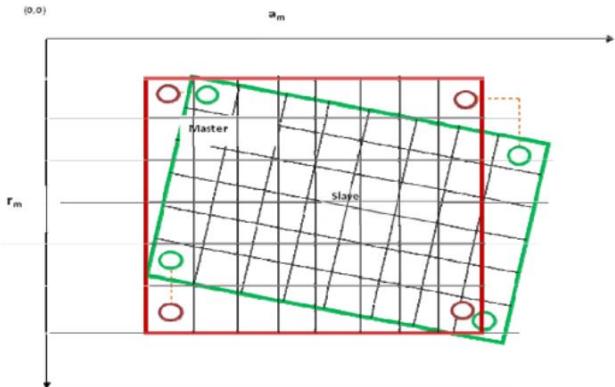
Citra Master dan Citra Slave diolah dengan proses Split dan Apply Orbit yaitu memisahkan data yang relevan dan mengaplikasikan informasi orbit satelit. Ilustrasinya seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi kondisi sistem koordinat (*range, azimut*) citra (Kusman, 2008)

Hasil dari proses Split dan Apply Orbit berupa estimasi jarak yang digunakan untuk mengekstraksi amplitudo dan *phase*, data ini berupa representasi informasi fisik muka bumi yang terpantul dari sinyal radar. Tahap selanjutnya Ko-registrasi citra untuk menggabungkan dua citra radar atau lebih dari waktu yang berbeda sehingga

piksel citra tersebut sejajar. Hasil Ko-registrasi citra untuk membandingkan perubahan dari waktu ke waktu menjadi satu citra seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ko-registrasi citra master dan citra slave (Kusman, 2008)

Tahap menentukan nilai koherensi untuk memperoleh kesesuaian antarcitra dengan menggunakan persamaan 2.9. Jika nilai koherensi kurang dari 1, proses dilanjutkan ke tahap interferogram untuk membedakan perubahan banyak citra. Dari hasil interferogram kemudian tahap *phase unwrapping* untuk mengatasi ambiguitas *phase* akibat pergeseran *phase* yang melampaui rentang $-\pi$ hingga $+\pi$, dengan menggunakan persamaan 3.2 (Ismullah, 2004).

$$\phi_{abs} = \phi + k2\pi \quad (3.2)$$

Keterangan:

ϕ_{abs} = *Phase Unwraped* atau phase absolut.

ϕ = *Phase* relatif

k = Ambiguitas *phase*

Hasil citra proses *phase unwrapping* dilanjutkan ke tahap *Sparse Point Processing*. Proses ini mengekstrak titik-titik signifikan dari data *unwrapping*, terutama titik-titik dengan nilai koherensi tinggi, untuk menganalisis penurunan permukaan tanah dengan menerapkan persamaan 3.4 (Ferretti, A. et al., 2007).

$$D_{stab} = 1 - \frac{\bar{a}}{\sigma_a} > 0,8 \quad (3.4)$$

Keterangan:

D_{stab} = Stabilitas titik (*Sparse Point Stability*), merupakan indikator seberapa stabil suatu titik dari segi koherensi.

\bar{a} = Rata-rata nilai amplitudo atau koherensi dari titik tertentu.

σ_a = Simpangan baku (*standard deviation*) dari nilai amplitudo atau koherensi pada titik yang sama.

$> 0,8 =$ Kondisi menunjukkan bahwa hanya titik-titik yang memiliki stabilitas lebih dari 0,8 yang dipertimbangkan sebagai *Sparse Points* (Ferretti, A. et al., 2007).

Hasil citra penurunan muka tanah dikonversi ke sistem koordinat geografis (*geocoding*) sehingga citra dapat dipetakan ke lokasi yang sebenarnya.

b. DEM SRTM

DEM SRTM merupakan representasi digital dari permukaan tanah yang menunjukkan elevasi atau ketinggian suatu area. DEM SRTM digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemetaan, analisis lingkungan, perencanaan kota, dan studi geospasial. Hasil citra penurunan muka tanah ditumpuk dengan DEM SRTM menjadi peta penurunan muka tanah dari tahun 2020-2023.

4. Analisis Hasil dan Pembahasan

Tahap ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengolahan data dengan metode PS-InSAR, meliputi informasi rata-rata laju penurunan muka tanah secara spasial dan temporal di wilayah terdampak, yang dapat digunakan sebagai upaya mitigasi.

5. Kesimpulan

Tahap terakhir menyimpulkan dari pengujian dan analisis data dari hasil pengambilan data yang telah diperoleh.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini menganalisis penurunan muka tanah di Kabupaten Demak menggunakan metode PS-InSAR, berdasarkan 48 citra Sentinel-1 berpolarisasi VV (*Vertical transmit, Vertical receive*) gelombang radar dikirim dan diterima dalam arah polarisasi vertikal dan VH (*Vertical transmit, Horizontal receive*) gelombang radar dikirim secara vertikal tetapi diterima dalam arah horisontal dengan mode IW (*Interferometric Wide Swath*) dirancang khusus untuk pemantauan wilayah daratan dengan cakupan luas dan resolusi spasial yang cukup tinggi, dikumpulkan dari tahun 2020 hingga 2023. Data sekunder diperoleh melalui situs web Copernicus ESA, dengan satu citra diambil setiap bulan. Rincian citra Sentinel-1 yang digunakan disajikan dalam Tabel 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.1 Dataset Sentinel-1 tahun 2020

No	Tanggal Akuisisi	Polarisasi	Mode
1	1-31 Januari 2020	VV+VH	IW
2	1-29 Februari 2020	VV+VH	IW
3	1-31 Maret 2020	VV+VH	IW
4	1-30 April 2020	VV+VH	IW
5	1- 31 Mei 2020	VV+VH	IW
6	1-30 Juni 2020	VV+VH	IW
7	1-31 Juli 2020	VV+VH	IW
8	1-31 Agustus 2020	VV+VH	IW
9	1-30 September 2020	VV+VH	IW
10	1-31 Oktober 2020	VV+VH	IW
11	1-30 November 2020	VV+VH	IW
12	1-31 Desember 2020	VV+VH	IW

Tabel 4.2 dataset Sentinel-1 tahun 2021

No	Tanggal Akuisisi	Polarisasi	Mode
1	1-31 Januari 2021	VV+VH	IW
2	1-28 Februari 2021	VV+VH	IW
3	1-31 Maret 2021	VV+VH	IW
4	1-30 April 2021	VV+VH	IW
5	1- 31 Mei 2021	VV+VH	IW
6	1-30 Juni 2021	VV+VH	IW
7	1-31 Juli 2021	VV+VH	IW
8	1-31 Agustus 2021	VV+VH	IW
9	1-30 September 2021	VV+VH	IW
10	1-31 Oktober 2021	VV+VH	IW
11	1-30 November 2021	VV+VH	IW
12	1-31 Desember 2021	VV+VH	IW

Tabel 4.3 dataset Sentinel-1 tahun 2022

No	Tanggal Akuisisi	Polarisasi	Mode
1	1-31 Januari 2022	VV+VH	IW
2	1-28 Februari 2022	VV+VH	IW
3	1-31 Maret 2022	VV+VH	IW
4	1-30 April 2022	VV+VH	IW
5	1- 31 Mei 2022	VV+VH	IW
6	1-30 Juni 2022	VV+VH	IW
7	1-31 Juli 2022	VV+VH	IW
8	1-31 Agustus 2022	VV+VH	IW
9	1-30 September 2022	VV+VH	IW
10	1-31 Oktober 2022	VV+VH	IW
11	1-30 November 2022	VV+VH	IW
12	1-31 Desember 2022	VV+VH	IW

Tabel 4.4 dataset Sentinel-1 tahun 2023

No	Tanggal Akuisisi	Polarisasi	Mode
1	1-31 Januari 2023	VV+VH	IW
2	1-28 Februari 2023	VV+VH	IW
3	1-31 Maret 2023	VV+VH	IW
4	1-30 April 2023	VV+VH	IW
5	1- 31 Mei 2023	VV+VH	IW
6	1-30 Juni 2023	VV+VH	IW
7	1-31 Juli 2023	VV+VH	IW
8	1-31 Agustus 2023	VV+VH	IW
9	1-30 September 2023	VV+VH	IW
10	1-31 Oktober 2023	VV+VH	IW
11	1-30 November 2023	VV+VH	IW
12	1-31 Desember 2023	VV+VH	IW

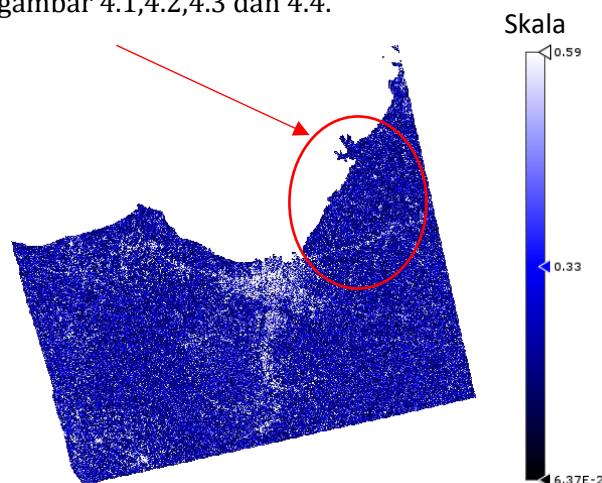
Pengolahan data dilakukan menggunakan *software SNAP (Sentinel Application Platform)* dengan metode PS-InSAR, perangkat lunak *QGIS (Quantum GIS)* untuk membuat peta penurunan muka tanah pada wilayah Kabupaten Demak.

Hasil penurunan muka tanah pada setiap tahun dihitung menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2. Hasil penelitian dianalisis faktor penurunan muka tanah tanah disetiap Kecamatan-Kecamatan di Kabupaten Demak yang memiliki potensi banjir rob.

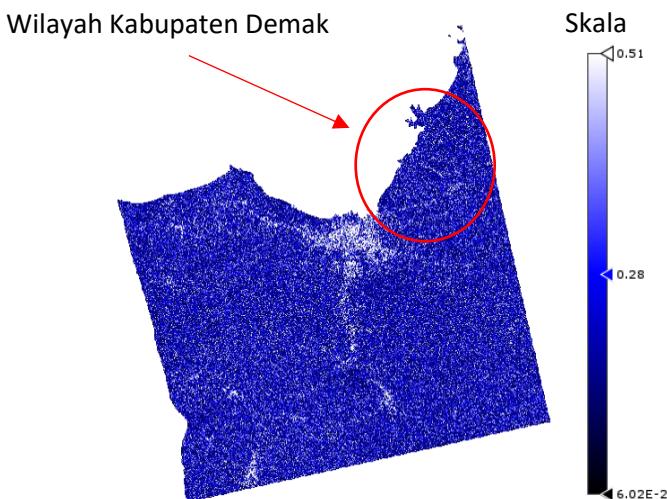
Hasil penelitian penurunan muka tanah pada tahun 2020 sampai 2023 dapat dijelaskan di bawah ini.

1. Hasil citra dan nilai koherensi

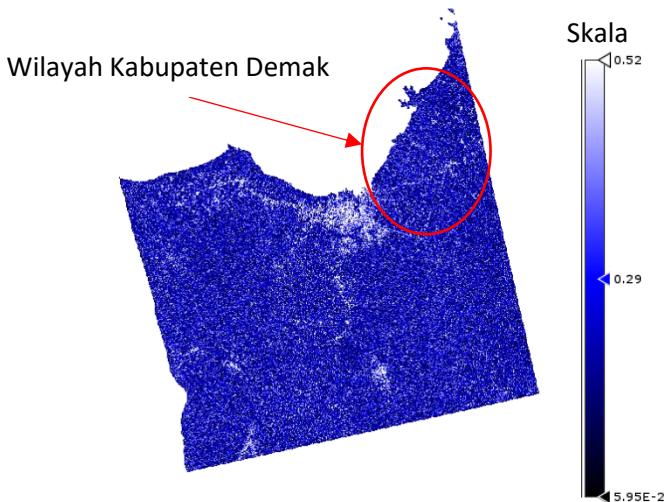
Proses penggabungan citra master dan citra slave dari tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 menghasilkan citra dengan nilai koherensi kurang dari 1. Semakin rendah nilai koherensi yang diperoleh (>0), semakin Wilayah Kabupaten Demak hasilkan, sehingga lebih optimal untuk proses penurunan muka tanah seperti pada gambar 4.1,4.2,4.3 dan 4.4.



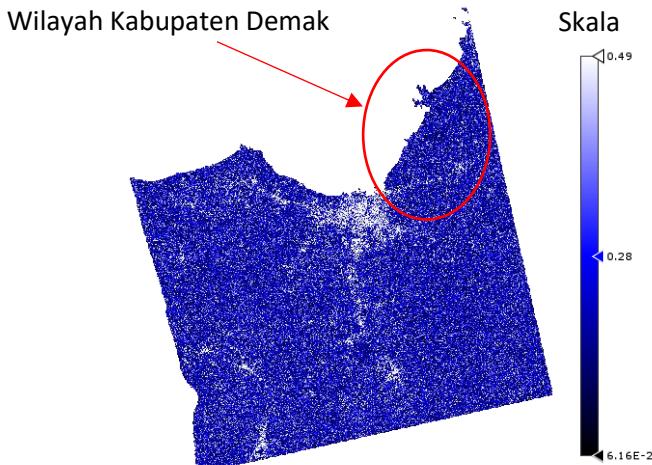
Gambar 4.1 Citra dan nilai koherensi tahun 2020.



Gambar 4.2 Citra dan nilai koherensi tahun 2021.



Gambar 4.3 Citra dan nilai koherensi tahun 2022.

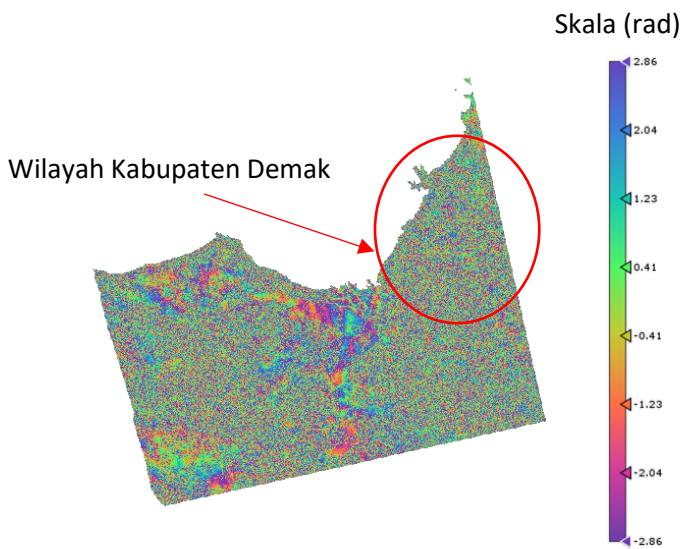


Gambar 4.4 Citra dan nilai koherensi tahun 2023.

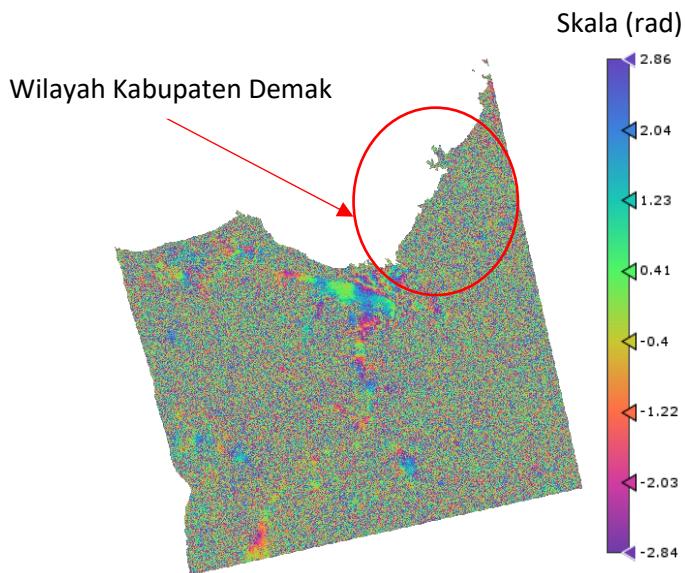
Objek dengan permukaan kasar akan memantulkan gelombang radar secara menyebar, sehingga terlihat lebih terang pada citra. Sebaliknya, jika objek menghasilkan hamburan yang lemah, wilayah tersebut akan tampak lebih gelap pada citra, yang menunjukkan bahwa permukaannya rata. Apabila nilai koherensi lebih dari 0 maka dapat dilanjutkan ke tahap interferogram. Jika kurang dari 0 maka kembali ke proses akuisisi data.

2. Hasil citra interferogram

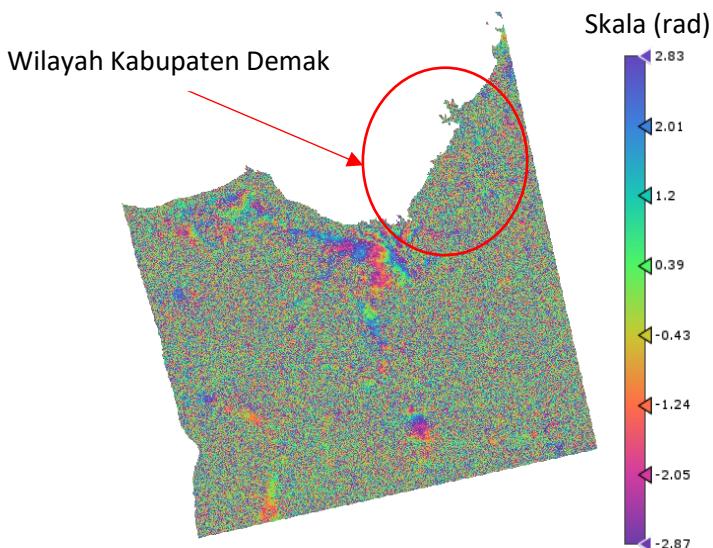
Hasil interferogram menampilkan variasi warna yang memiliki perubahan beda phase gelombang, seperti gambar 4.5,4.6,4.7 dan 4.8.



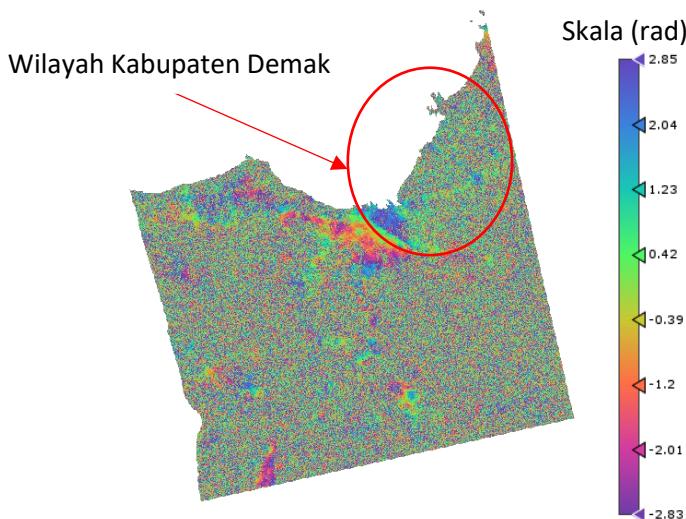
Gambar 4.5 Citra dan nilai interferogram tahun 2020.



Gambar 4.6 Citra dan nilai interferogram tahun 2021.



Gambar 4.7 Citra dan nilai interferogram tahun 2022.

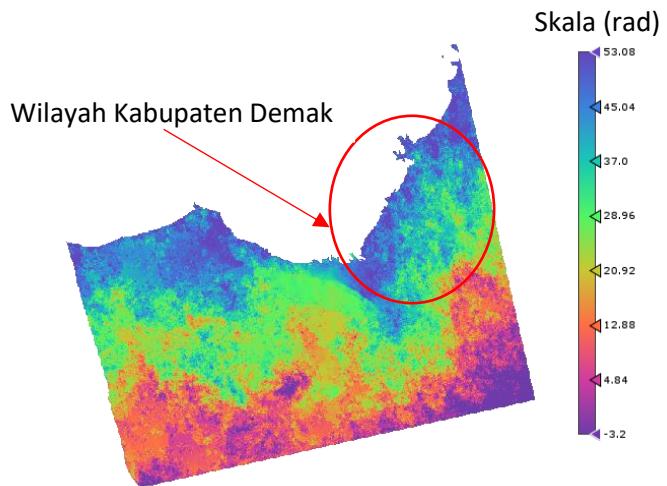


Gambar 4.8 Citra dan nilai interferogram tahun 2023.

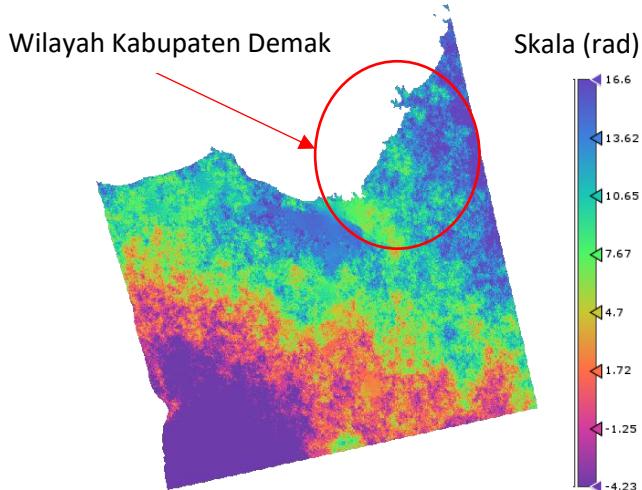
Hasil interferogram dari tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 menunjukkan variasi warna citra yang berkaitan dengan perubahan jarak. Interferogram yang dihasilkan dari pasangan citra mengandung efek topografi. Pada skala citra, perubahan warna berlangsung secara bertahap, dimulai dari biru-ungu pada skala negatif (-), warna hijau, kuning, merah, hingga kembali ke ungu-biru pada skala positif (+), mencerminkan siklus fase yang berulang.

3. Hasil citra *phase unwrapping*

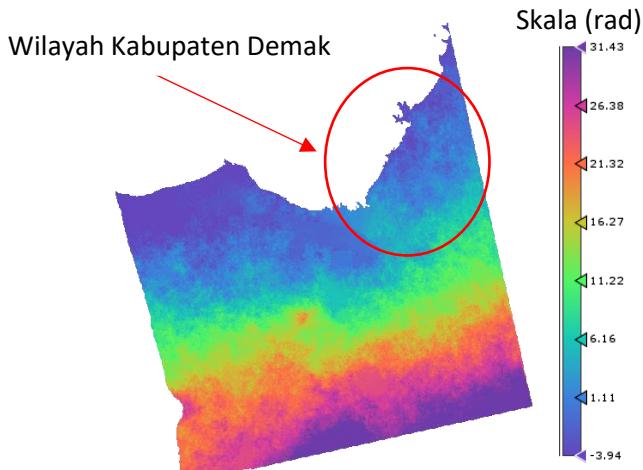
Citra *phase unwrapping* untuk mengubah phase yang diukur dalam interferogram yang dibatasi dalam rentang $(-\pi, \pi)$ menjadi nilai phase kontinu yang mencerminkan perbedaan jarak atau penurunan muka tanah sebenarnya. Hasil citra dapat dilihat pada gambar 4.9, 4.10, 4.11 dan 4.12.



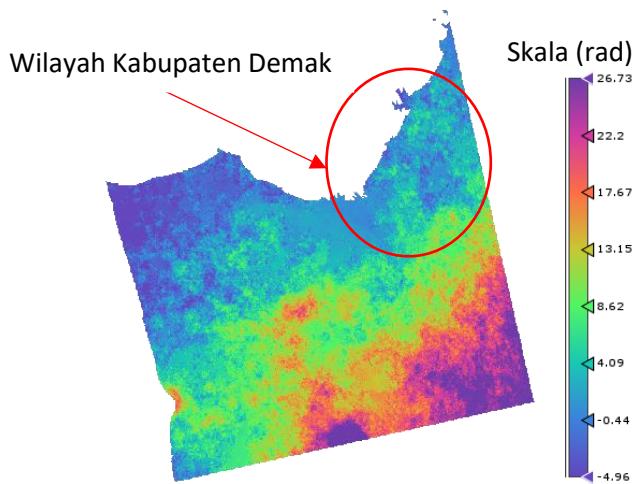
Gambar 4.9 Citra *phase unwrapping* tahun 2020.



Gambar 4.10 Citra *phase unwrapping* tahun 2021.



Gambar 4.11 Citra *phase unwrapping* tahun 2022.



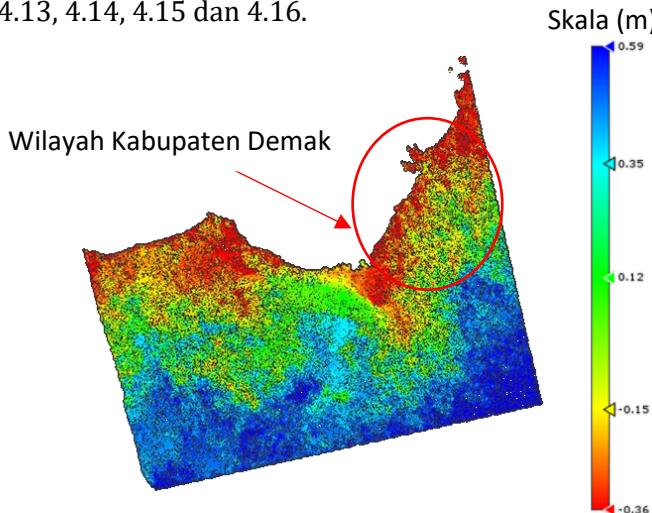
Gambar 4.12 Citra *phase unwrapping* tahun 2023.

Hasil citra *phase unwrapping*, variasi warna dalam skala (ungu, biru, hijau, kuning, oranye, merah, hingga kembali ke ungu) merepresentasikan nilai

phase kontinu. Nilai negatif (-) menunjukkan perbedaan phase yang mengindikasikan area mengalami pengangkatan, nilai positif (+) menandakan perbedaan phase adanya penurunan muka tanah. Nilai yang diperoleh bersifat positif dari warna dari biru hingga hijau adanya penurunan muka tanah.

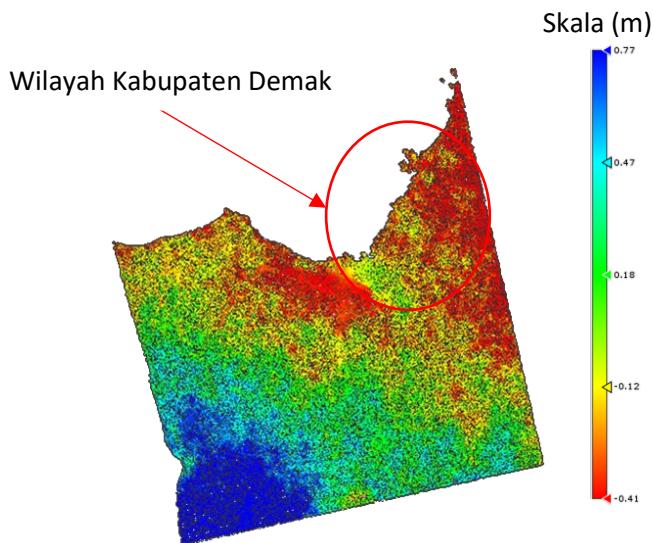
4. Hasil citra penurunan muka tanah

Citra yang memiliki nilai phase kontinu diekstrak menjadi titik-titik yang signifikan pada tahap *Sparse Point Processing* untuk mengetahui penurunan muka tanah. Hasil pada tahap ini dapat dilihat pada gambar 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.13 Citra penurunan muka tanah tahun 2020.

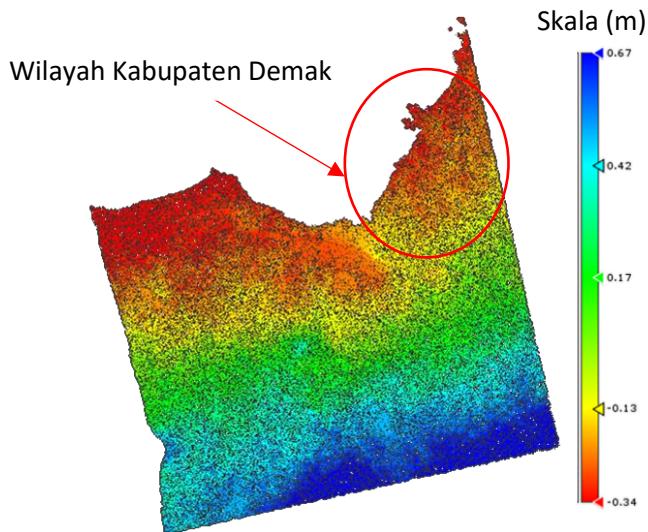
Berdasarkan gambar 4.13 pada Kabupaten Demak memiliki zona merah di bagian pesisir dengan penurunan muka tanah $\pm 0,36$ m, zona kuning dengan penurunan muka tanah $\pm 0,15$ m, zona hijau dengan kenaikan muka tanah $\pm 0,12$ m. Kenaikan muka tanah (*uplift*) terjadi karena adanya faktor akumulasi sedimen sehingga proses sedimentasi di delta sungai atau daerah pesisir dapat menyebabkan peningkatan elevasi muka tanah.



Gambar 4.14. Citra penurunan muka tanah tahun 2021.

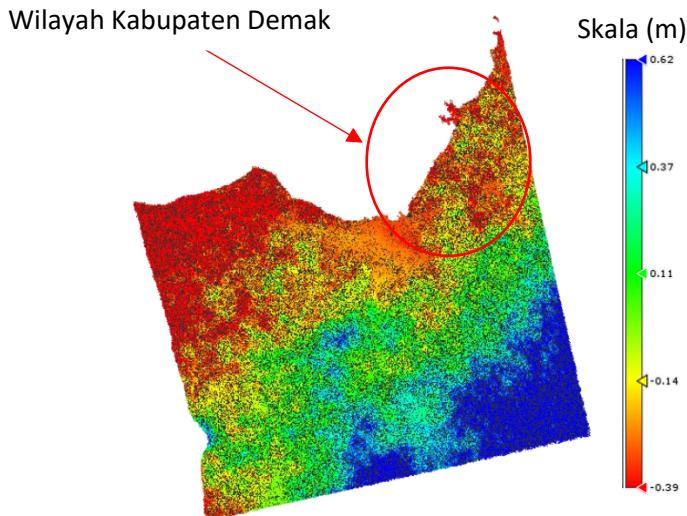
Berdasarkan gambar 4.14, pada Kabupaten Demak memiliki zona merah dengan penurunan muka

tanah $\pm 0,41$ m, zona kuning penurunan muka tanah $\pm 0,12$ m, zona hijau dengan kenaikan muka tanah $\pm 0,18$ m.



Gambar 4.15 Citra penurunan muka tanah tahun 2022

Berdasarkan gambar 4.15, Kabupaten Demak memiliki zona merah dengan penurunan muka tanah $\pm 0,34$ m, zona kuning dengan penurunan muka tanah $\pm 0,13$ m, zona hijau dengan kenaikan tanah $\pm 0,17$ m.



Gambar 4.16 Citra penurunan muka tanah tahun 2023

Berdasarkan gambar 4.16, Kabupaten Demak memiliki zona merah dengan penurunan muka tanah $\pm 0,39$ m, zona kuning dengan penurunan muka tanah $\pm 0,14$ m, zona hijau menunjukkan kenaikan muka tanah $\pm 0,11$ m.

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh data rata-rata laju penurunan muka tanah di setiap Kecamatan di Kabupaten Demak selama periode tahun 2020 hingga 2023 ditampilkan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data rata-rata laju penurunan muka tanah

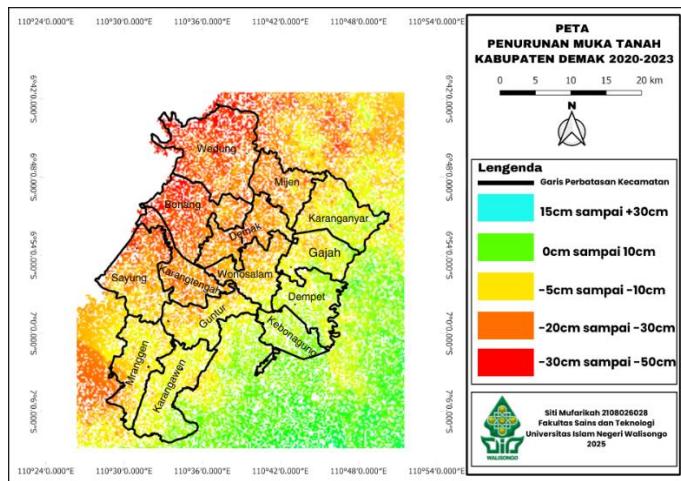
Kecamatan	Penurunan Muka Tanah (m/th)				Rata-rata
	2020	2021	2022	2023	
Wedung	0,29	0,38	0,30	0,37	0,34
Mijen	0,20	0,20	0,14	0,16	0,18
Karangtengah	0,25	0,29	0,33	0,38	0,32
Bonang	0,30	0,36	0,28	0,35	0,33
Demak	0,10	0,11	0,13	0,17	0,13
Sayung	0,38	0,37	0,31	0,34	0,35
Wonosalam	0,13	0,18	0,17	0,15	0,16
Kebonagung	0,10	0,09	0,07	0,08	0,08
Dempet	0,20	0,19	0,21	0,12	0,18
Gajah	0,15	0,12	0,13	0,23	0,16
Karanganyar	0,19	0,18	0,20	0,20	0,20
Guntur	0,18	0,19	0,18	0,19	0,19
Mranggen	0,16	0,18	0,19	0,25	0,20
Karangawen	0,21	0,17	0,18	0,19	0,19
Rata-Rata	0,22	0,22	0,20	0,23	0,30

B. Pembahasan Penelitian

Berdasarkan hasil pengolahan citra pada tahun 2020 sampai 2023, dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Rata-rata laju Penurunan Muka Tanah di Kabupaten Demak

Hasil citra penurunan muka tanah tahun 2020 sampai 2023 kemudian di tumpuk dalam bentuk peta untuk mengetahui daerah Kecamatan di Kabupaten Demak, seperti gambar 4.17.



Gambar 4.17 Peta penurunan muka tanah tahun 2020-2023

Berdasarkan gambar peta, dapat diidentifikasi Kecamatan-Kecamatan yang mengalami penurunan muka tanah hingga adanya kenaikan muka tanah. Kecamatan di wilayah pesisir utara Kabupaten Demak menunjukkan sebaran zona merah yang luas dan wilayah bagian selatan memiliki zona kuning dan hijau.

Faktor utama yang berkontribusi terhadap penurunan muka tanah di Kabupaten Demak adalah eksplorasi air tanah secara berlebihan. Aktivitas pertanian, industri, dan kebutuhan domestik menyebabkan tekanan tinggi terhadap aquifer, terutama di daerah yang tidak memiliki sistem suplai air permukaan yang memadai. Pengambilan air tanah

yang terus-menerus menyebabkan lapisan tanah mengalami penurunan tekanan pori, sehingga ruang antarpartikel tanah menyempit dan tanah mengalami kompaksi, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan muka tanah.

Jenis tanah yang dominan berupa endapan aluvial dan lempung jenuh air di wilayah Kabupaten Demak juga menjadi faktor yang mempercepat proses penurunan muka tanah. Tanah dengan karakteristik tersebut sangat rentan terhadap kompaksi, terutama ketika mengalami beban tambahan atau pengeringan akibat pengambilan air tanah. Aktivitas pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan kawasan permukiman juga menjadi penyebab lain. Beban dari bangunan-bangunan industri yang berdiri di atas lapisan tanah lunak mempercepat terjadinya penurunan, terutama jika tidak disertai dengan perencanaan geoteknis yang baik.

Perubahan penggunaan lahan turut memperparah kondisi ini. Alih fungsi lahan dari area terbuka menjadi kawasan terbangun menyebabkan berkurangnya daerah resapan air, sehingga proses pengisian kembali air tanah (*recharge*) menjadi terganggu. Ketidakseimbangan antara ekstraksi dan

pengisian ulang air tanah ini mempercepat terjadinya penurunan muka tanah. Meskipun kontribusinya lebih kecil, faktor-faktor alami seperti proses geologi jangka panjang dan aktivitas tektonik juga dapat memengaruhi kondisi muka tanah.

Wilayah pesisir utara Kabupaten Demak juga merupakan daerah tambak yang luas. Tambak sering mengandalkan air tanah untuk pengisian kolam, dan banyak di antaranya yang tidak memiliki sistem resapan atau *recharge* alami. Selain itu, penggunaan lahan untuk tambak sering kali menyebabkan degradasi struktur tanah dan hilangnya vegetasi penahan tanah.

Hasil ini sesuai dengan data dari Badan Geologi Kementerian ESDM bahwa wilayah pesisir di Kabupaten Demak mengalami penurunan muka tanah lebih cepat dibandingkan dengan kawasan daratannya. Beberapa penyebab utama yang memengaruhi kondisi tersebut meliputi laju penurunan muka tanah yang cukup tinggi, naiknya permukaan air laut akibat perubahan iklim, serta perubahan pola aliran sungai yang terganggu karena ketinggian daratan yang lebih rendah dibandingkan muka laut.

2. Potensi banjir rob di wilayah Kabupaten Demak

Berdasarkan data laju rata-rata penurunan muka tanah pada tabel 4.5, penurunan muka tanah di Kabupaten Demak menunjukkan adanya perbedaan tingkat penurunan antar Kecamatan, yang dipengaruhi oleh karakteristik wilayah dan aktivitas manusia yang berlangsung di masing-masing daerah. Kecamatan Sayung merupakan salah satu wilayah dengan tingkat penurunan muka tanah tertinggi. Hal ini disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor, terutama karena kawasan ini merupakan wilayah pesisir dengan jenis tanah aluvial dan lempung jenuh air yang mudah terkompaksi.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Demak, pada tahun 2021 terdapat 134 perusahaan industri besar dan sedang yang beroperasi di Kecamatan Sayung menyebabkan tingginya kebutuhan air tanah, sehingga eksplorasi akuifer berlangsung secara intensif. Kurangnya resapan air dan tekanan beban bangunan juga mempercepat proses penurunan permukaan tanah.

Kecamatan Wedung yang terletak di bagian timur laut Kabupaten Demak juga mengalami penurunan muka tanah, meskipun tidak seintensif Kecamatan

Sayung. Penurunan di wilayah ini umumnya berkaitan dengan aktivitas pertanian dan tambak yang luas, yang membutuhkan suplai air dalam jumlah besar. Eksplorasi air tanah untuk keperluan irigasi serta perubahan penggunaan lahan dari sawah menjadi tambak turut memengaruhi stabilitas tanah di wilayah ini. Topografi datar dan jenis tanah endapan laut yang masih muda menjadikan Kecamatan Wedung cukup rentan terhadap kompaksi tanah.

Kecamatan Bonang menunjukkan pola penurunan muka tanah yang tersebar di beberapa titik. Aktivitas pertanian intensif serta pertumbuhan permukiman di wilayah pedesaan turut menyumbang pada proses penurunan tanah di Kecamatan Bonang. Penggunaan air tanah untuk kebutuhan pertanian dan domestik menjadi salah satu penyebab utama, ditambah dengan kondisi tanah yang bersifat lempung dan jenuh air yang mudah mengalami penurunan apabila terjadi tekanan dari atas atau kekurangan air di bawah permukaan.

Berbeda dengan ketiga Kecamatan sebelumnya, Kecamatan Karangtengah berada lebih ke arah tengah daratan Kabupaten Demak dan relatif lebih jauh dari garis pantai. Penurunan muka tanah tetap terdeteksi di

beberapa lokasi, terutama di kawasan permukiman dan sekitar jalur transportasi. Faktor yang paling berperan di Karangtengah adalah pertumbuhan pembangunan dan pemanfaatan air tanah untuk kebutuhan rumah tangga dan usaha kecil. Meskipun tidak termasuk wilayah dengan penurunan ekstrem, penurunan tetap perlu diperhatikan karena berpotensi meningkat seiring pertambahan aktivitas pembangunan.

Penurunan muka tanah di wilayah pesisir menyebabkan elevasi daratan menjadi lebih rendah dibandingkan permukaan laut. Kondisi ini meningkatkan kerentanan wilayah pesisir terhadap intrusi air laut, yang pada akhirnya mempercepat proses abrasi pantai. Penurunan muka tanah turut menyebabkan peningkatan frekuensi dan perluasan wilayah terdampak banjir rob di kawasan pesisir.

Hasil ini sesuai dengan data yang didukung oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) yang menunjukkan bahwa Kabupaten Demak, terdapat 22 desa di Kecamatan Sayung, Kecamatan Wedung, Kecamatan Bonang dan Kecamatan Karangtengah, yang secara berulang mengalami banjir rob. Dalam periode 2020 hingga 2023, kejadian banjir rob

menunjukkan peningkatan, dengan beberapa desa mengalami genangan yang cukup luas. Luas total area terdampak mencapai 1.266,52 hektar, dengan ketinggian air bervariasi antara 0,20 m hingga 1 m di berbagai lokasi.

Kecamatan Mijen, Demak, Wonosalam, Kebonagung, Dempet, Gajah, Karanganyar, Guntur, Mranggen, dan Karangawen menunjukkan tingkat penurunan muka tanah yang relatif rendah selama periode 2020 hingga 2023. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor utama yang membedakan wilayah-wilayah tersebut dari Kecamatan pesisir atau kawasan dengan aktivitas industri tinggi.

Sebagian besar dari Kecamatan Mijen, Demak, Wonosalam, Kebonagung, Dempet, Gajah, Karanganyar, Guntur, Mranggen, dan Karangawen berada di wilayah tengah hingga selatan Kabupaten Demak yang secara geografis memiliki jarak cukup jauh dari garis pantai. Dengan demikian, jenis tanah yang mendominasi adalah tanah aluvial yang lebih stabil dan tidak jenuh air laut, berbeda dengan tanah lempung jenuh air di wilayah pesisir yang lebih rentan terhadap kompaksi. Struktur tanah yang relatif lebih

padat dan tua membuat area ini kurang rentan terhadap penurunan permukaan tanah akibat beban atau kekurangan air tanah.

Intensitas pemanfaatan air tanah di Kecamatan Mijen, Demak, Wonosalam, Kebonagung, Dempet, Gajah, Karanganyar, Guntur, Mranggen, dan Karangawen tergolong moderat. Mayoritas penduduk di Kecamatan seperti Mijen, Dempet, Gajah, dan Karanganyar masih mengandalkan irigasi permukaan untuk kegiatan pertanian, terutama dari saluran irigasi yang berasal dari Waduk Kedungombo dan jaringan irigasi teknis lainnya. Tekanan terhadap akuifer dangkal di bawah permukaan tanah tidak sebesar di daerah seperti Sayung atau Bonang, yang banyak mengandalkan air tanah untuk kebutuhan industri dan rumah tangga padat penduduk.

Aktivitas pembangunan dan urbanisasi di wilayah ini juga belum terlalu tinggi. Kecamatan seperti Karangawen, Mranggen, dan Guntur memang mengalami pertumbuhan kawasan permukiman, namun tidak sepesat wilayah pesisir. Beban permukaan akibat konstruksi bangunan dan infrastruktur juga tidak begitu besar, sehingga tidak

memberikan tekanan tambahan yang signifikan terhadap lapisan tanah di bawahnya.

Beberapa wilayah seperti Kecamatan Kebonagung dan Kecamatan Wonosalam merupakan daerah dengan tutupan vegetasi dan lahan pertanian yang masih luas. Lahan terbuka dan vegetasi mampu meningkatkan infiltrasi air hujan ke dalam tanah, sehingga membantu menjaga keseimbangan antara pengambilan dan pengisian ulang air tanah (*recharge*). Hal ini turut membantu menekan laju penurunan muka tanah dalam jangka panjang. Rendahnya penurunan muka tanah di Kecamatan-Kecamatan tersebut mencerminkan adanya keseimbangan antara kondisi geologis, tingkat eksplorasi air tanah, serta aktivitas pembangunan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Rata-rata laju penurunan muka tanah di wilayah Kabupaten Demak pada tahun 2020 sampai 2023 sebesar 0,30 m.
2. Wilayah dengan potensi banjir rob meliputi Kecamatan Sayung, Kecamatan Wedung, Kecamatan Bonang dan Kecamatan Karangtengah dengan rata-rata penurunan muka tanah berturut-turut 0,35 m, 0,34 m, 0,33 m dan 0,32 m.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlunya pemanfaatan data dari metode pengamatan lain sebagai pembanding guna melakukan validasi serta mengevaluasi tingkat akurasi dari metode PS-InSAR yang digunakan.
2. Untuk pengolahan PS-InSAR, disarankan menggunakan citra satelit dengan baseline yang lebih

rapat agar menghasilkan data yang lebih akurat. Selain itu, penggunaan citra dengan panjang gelombang lebih panjang, seperti L-band, lebih dianjurkan karena memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik terhadap vegetasi dibandingkan dengan C-band.

3. Penelitian selanjutkan bisa menggunakan metode terbaru seperti *Small Baseline Subset* (SBAS) dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Schubert. (2015). Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning. *Remote Sens, Volume 7, Pp. 9431-9449.*
- Akbar, G. D. P. N., & Setiawan, B. (2022). Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Jambi Dengan Metode Differential Interferometry Synthetics Aperture Radar Tahun 2016 – 2021. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing, 3(1), 20–29.* <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i1.71>
- Andnur, M. O., Widada, S., & Suryo, A. A. D. (2022). Analisis Kenaikan Muka Air Laut dan Penurunan Muka Tanah untuk Perencanaan Tinggi Lantai Bangunan di Pesisir Utara Kota Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography, 4(2), 56–60.* <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i2.13525>
- Asrofi, A., Hardoyo, S. R., & Sri Hadmoko, D. (2017). Strategi Adaptasi Masyarakat Pesisir Dalam Penanganan Bencana Banjir Rob Dan Implikasinya Terhadap Ketahanan Wilayah (Studi Di Desa Bedono Kecamatan Sayung Kabupaten Demak Jawa Tengah). *Jurnal Ketahanan Nasional, 23(2), 1.* <https://doi.org/10.22146/jkn.26257>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (Fifth Edit).

- Chen, Y., Ding, C., Huang, P., Yin, B., Tan, W., Qi, Y., Xu, W., & Du, S. (2024). Research on Time Series Monitoring of Surface Deformation in Tongliao Urban Area Based on SBAS-PS-DS-InSAR. *Journal Sensors*, 24(4), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s24041169>
- Dumka, R. K., SuriBabu, D., Malik, K., Prajapati, S., & Narain, P. (2020). PS-InSAR derived deformation study in the Kachchh, Western India. *Applied Computing and Geosciences*, 8(October), 100041. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100041>
- Dwiakram, N., Amarrohman, F. J., & Prasetyo, Y. (2021). STUDI PENURUNAN MUKA TANAH MENGGUNAKAN DINSAR TAHUN 2017 - 2020 (Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 170–179.
- ESA. (2012). *SENTINEL-1: ESA's Radar Observatory Missions for GMES Operational Services*. European Space Agency.
- ESA. (2024). *Sentinel-1*. 2024. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission>
- Fárová, K., Jelének, J., Kycl, V. K.-S., & Kycl, P. (2019). Comparing DInSAR and PSI Techniques Employed to Sentinel-1 Data to Monitor Highway Stability: A Case Study of a Massive Dobkovičky Landslide, Czech Republic. *Remote Sensing*.
- Fernando. (2021). Sistem Informasi Geografis (SIG) Pemetaan Lokasi Pertambangan Batu Bara Berbasis Quantum GIS

- (Studi Kasus: PT. Hasil Bumi Kalimantan). *Journal of Information Systems and Informatics*, 3(1):108–2.
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., D., & Rocca, F. (2007). *Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation. Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Gambolati, G., & Teatini, P. (2021). *Land Subsidence and its Mitigations*.
- Ghaderpour, E., Antonielli, B., Bozzano, F., ScarasciaMugnozza, G., & Mazzanti, P. (2024). A fast and robust method for detecting trend turning points in InSAR displacement time series. *Computers and Geosciences*, 185(December 2023), 105546.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2024.105546>
- Ismullah, I. H. (2004). Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (INSAR) Data Satelit. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*36, 11–36.
- Kasfari, R., Yuwono, B. D., & Awaluddin, M. (2018). Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 120–130.
3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/19315
- Kemendagri Kabupaten Demak. (2024). *Geografi dan*

Kependudukan Demak. 2024.

Kernevez, J. P. (2023). *The Sentinel Method and Its Application to Environmental Pollution Problems.*

Khoirunisa, R., Yuwono, B. D., & Wijaya, A. P. (2015). ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG TAHUN 2015 MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GAMIT 10.5. *Jurnal Geodesi Undip, Volume 4*, 341–350.

Kusman, A. (2008). Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR). *Institut Teknologi Bandung.*

Lorenza, A., Sentosa, G. S., & Iskandar, A. (2019). Pemodelan Pumping Test Sebagai Dasar Perhitungan Dewatering Pada Proyek Di Sudirman. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 161. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.4305>

Masvika, H., Adi, A. D., & Faris, F. (2019). EVALUASI PENURUNAN KONSOLIDASI TANAH DI SEMARANG UTARA BERDASARKAN KORELASI N-SPT DENGAN mv. *Rekayasa Sipil*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.22441/jrs.2018.v07.i1.01>

Munfiah, S., Nurjazuli, & Setiani, O. (2013). Kualitas Fisik dan Kimia Air Sumur Gali dan Sumur Bor di Wilayah Kerja Puskesmas Guntur II Kabupaten Demak Physical and Chemical Water Quality of Dug and Bore Well in the Working Area of Public Health Center II Guntur Demak

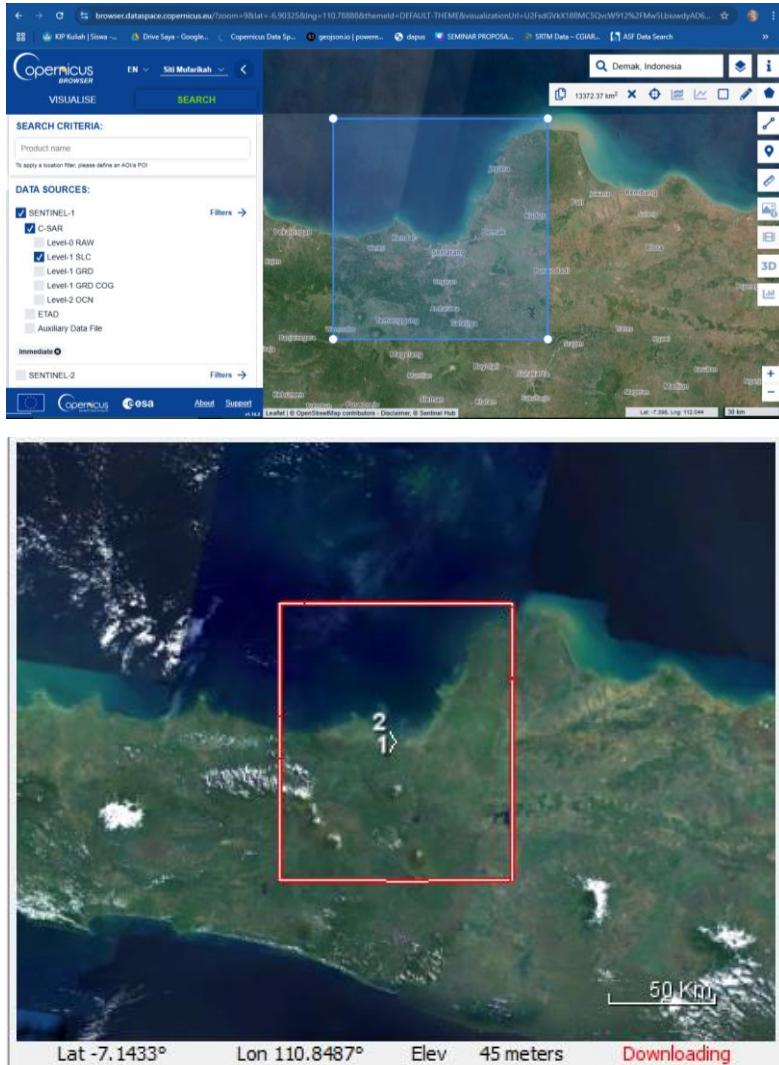
- Regency. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 12(2), 154–159.
- Parapat, A. D., & Sulistian, T. (2020). ANALISIS AKURASI VERTIKAL DIGITAL ELEVATION MODEL NASIONAL (DEMNAS) STUDI KASUS KOTA. *FIT ISI 2019 Dan ASEANFLAG 72nd COUNCIL MEETING ANALISIS*, January.
- Prasetyo, Y., & Subiyanto, S. (2014). Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Menggunakan Metode Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (Ps-Insar) Di Kawasan Kota Cimahi - Jawa Barat. *Teknik*, 35(2), 78–85.
<https://doi.org/10.14710/teknik.v35i2.7184>
- Rahmawan, L. ., Yuwono, B. ., & Awaludin, M. (2016). Monitoring of the earth surface deformation in the coastal area using GPS survey in Demak Regency 2016 (case study: coasatal Sayung sub-district, Demak) (in Indonesian). *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), 44–55.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/13875/13424>
- Ramadhan, I. S., Muslim, D., Zakaria, Z., & Pramudyo, T. (2021). Penurunan Permukaan Tanah di Pesisir Pantai Utara Jawa, Desa Bandarharjo dan Sekitarnya, Kota Semarang, Jawa Tengah. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(4), 381–393.

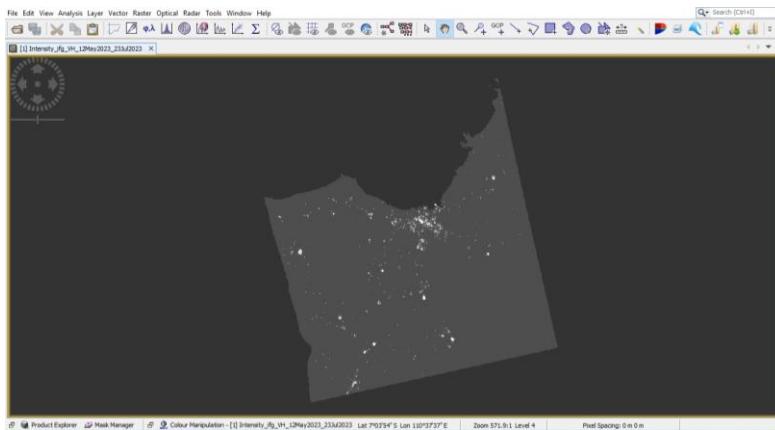
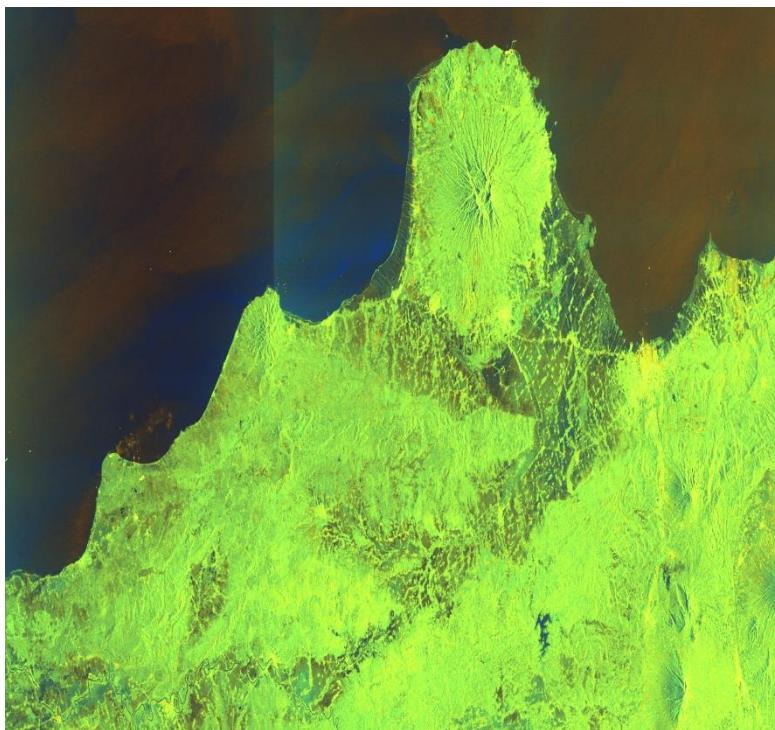
- Razi, P., Josaphat, T. S. S., Daniele P., Hiroaki K., Ming Y., C., dan Good F., P. (2018). 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR. *Geodetic GPS and UAV, IEEE Access*.
- Rifai, M. (2022). Pengelolaan Terhadap Pemanfaatan Air Tanah di Kabupaten Demak. *Matriks Teknik Sipil*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i1.50094>
- Rocca, F. (2014). Diameters of the orbital tubes in long-term interferometric SAR surveys. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 1 (3), 224–227.
- Siahaan, M. (2017). *Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Akibat Pengambilan Akuifer*.
- Simons, M., & Rosen, P. A. (2007). Interferometric synthetic aperture radar geodesy. *California Institute of Technology*, 391–446.
- Whittaker, B. N., & Reddish. (1998). *Subsidence Occurrence, Prediction, and Control*.
- Yang, C.-H. (2019). Spatiotemporal Change Detection Based on Persistent Scatterer Interferometry – A Case Study of Monitoring Urban Area. *Germany: University of Stuttgart*.
- Yuwono, B. D. (2013). Korelasi Penurunan Muka Tanah Dengan Penurunan Muka Air Tanah Di Kota Semarang. *Teknik*, 34(3), 188–195.

Zebker, H. A., & Villasenor, J. (1992). *Decorrelation in interferometric* Zebker, H.A. and Villasenor, J. (1992) *Decorrelation in interferometric radar echoes.* Available at: <https://doi.org/10.1109/36.175330> radar echoes.
<https://doi.org/10.1109/36.175330>

Lampiran 1

Data Sentinel-1





Amalfi Quality Control

Report

1. Report Summary

#	Item	Date	Duration	Status
1	S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C_A5A3.SAFE	2020-01-04T12:38:26	0.948 s	Passed

Table 1. Inspected item(s) summary

- S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C_A5A3.SAFE

2. Item S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C_A5A3.SAFE

2.1. Overview

Name	S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C_A5A3.
URL	/data_PWA/pmn2-s1-4.7.1/cache/WD_amalfi-server-IW_SLC_1S-631920379/S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C
Class	SENTINEL-1 Interferometric Wide Swath Level 1 Product

Table 2. S1A_IW_SLC_1SDV_20200104T105830_20200104T105900_030649_03833C_A5A3.SAFE

2.2. Inspections

#	Inspection	Date	Duration	Status
1	Checks if Schema Category is correctly defined. Category ok for : <i>s1Level1ProductSchema, s1Level1NoiseSchema, s1Level1CalibrationSchema, s1ObjectTypesSchema, s1Level1MeasurementSchema, s1Level1ProductPreviewSchema, s1Level1QuickLookSchema, s1Level1MapOverlaySchema</i>	2020-01-04T12:38:26	0.019 s	Passed
2	Checks if MeasurementFrameSet Classification is correctly defined. Classification ok for : <i>measurementFrameSet</i>	2020-01-04T12:38:26	0.012 s	Passed
3	Checks if all external references are present in the product directory. All external references are present in the product directory.	2020-01-04T12:38:26	0.058 s	Passed
4	Checks if Index Classification is correctly defined. No Index classification in product.	2020-01-04T12:38:26	0.01 s	Passed
5	Checks if Processing metadata is present. Processing exists.	2020-01-04T12:38:26	0.003 s	Passed

Amalfi Quality Control

#	Inspection	Date	Duration	Status
6	Checks if Orbit Reference Category is correctly defined. <i>Category ok for : measurementOrbitReference</i>	2020-01-04T12:38:26	0.008 s	Passed
7	Checks if Acquisition Period Category is correctly defined. <i>Acquisition Period Category is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
8	Checks if Platform Category is correctly defined. <i>Platform Category is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.003 s	Passed
9	Checks if Acquisition Period is present. <i>Acquisition Period exists.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
10	Checks if Schema Classification is correctly defined. <i>Classification ok for : s1Level1ProductSchema, s1Level1NoiseSchema, s1Level1CalibrationSchema, s1ObjectTypesSchema, s1Level1MeasurementSchema, s1Level1ProductPreviewSchema, s1Level1QuickLookSchema, s1Level1MapOverlaySchema</i>	2020-01-04T12:38:26	0.008 s	Passed
11	Checks if Processing Classification is correctly defined. <i>Processing Classification is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
12	Checks if Grid Reference Classification is correctly defined. <i>No Index classification in product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
13	Checks if all the Id References defined in the product are valid. <i>All the Id References defined in the product are valid.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.261 s	Passed
14	Checks if Orbit Reference Classification is correctly defined. <i>Classification ok for : measurementOrbitReference</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
15	Checks if Acquisition Period Classification is correctly defined. <i>Acquisition Period Classification is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
16	Checks if Processing Category is correctly defined. <i>Processing Category is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
17	Checks if MeasurementFrameSet Category is correctly defined. <i>Category ok for : measurementFrameSet</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
18	Checks If Annotation Category is correctly defined.	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed

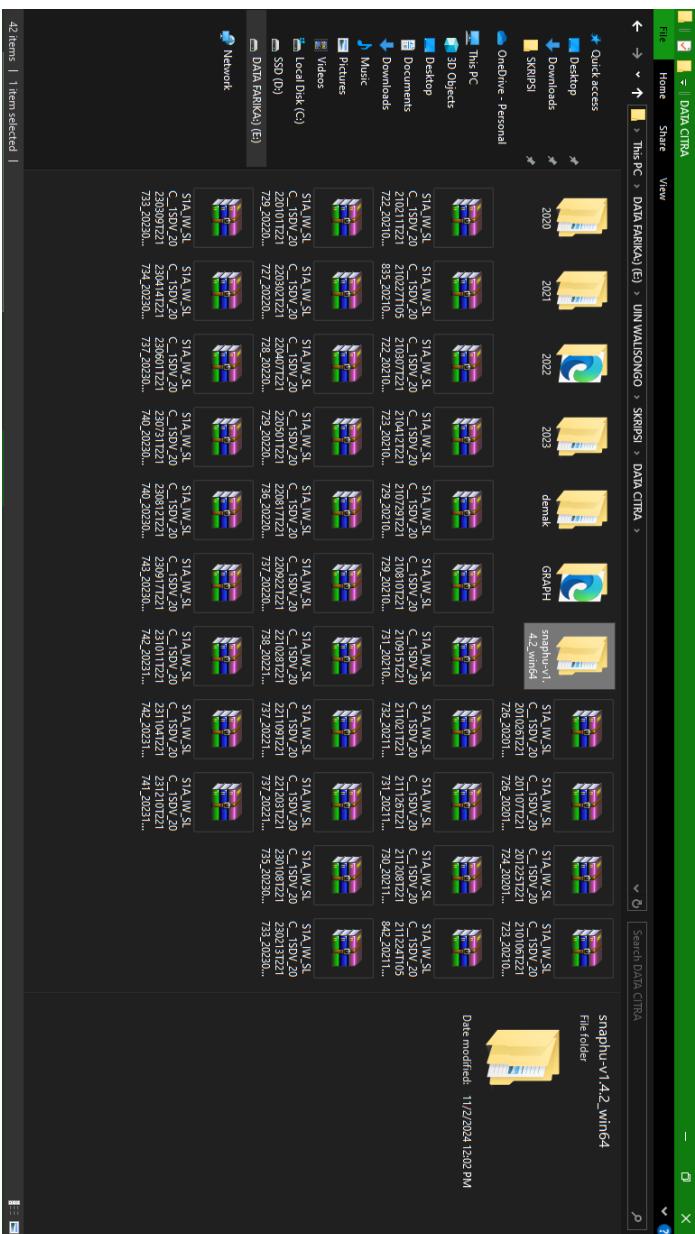
Amalfi Quality Control

#	Inspection	Date	Duration	Status
<i>Category ok for :</i>				
19	<i>products1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>noises1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>products1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>noises1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>products1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>noises1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>products1aiw1slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c004.Annotation,</i> <i>noises1aiw1slcvv20200104t10583020200104t10585803064903833c004.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw1slcvv20200104t10583020200104t10585803064903833c004.Annotation,</i> <i>products1aiw2slcvv20200104t10583120200104t10585903064903833c005.Annotation,</i> <i>noises1aiw2slcvv20200104t10583120200104t10585903064903833c005.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw2slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>products1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>noises1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>mapoverlay.Annotation, product.preview.Annotation</i>	2020-01-04T12:38:26	0.006 s	Passed
<i>Classification ok for :</i>				
20	<i>products1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>noises1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw1slcvh20200104t10583020200104t10585803064903833c001.Annotation,</i> <i>products1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>noises1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw2slcvh20200104t10583120200104t10585903064903833c002.Annotation,</i> <i>products1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>noises1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw3slcvh20200104t10583220200104t10590003064903833c003.Annotation,</i> <i>products1aiw1slcvv20200104t10583020200104t10585803064903833c004.Annotation,</i> <i>noises1aiw1slcvv20200104t10583020200104t10585803064903833c004.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw1slcvv20200104t10583020200104t10585803064903833c004.Annotation,</i> <i>products1aiw2slcvv20200104t10583120200104t10585903064903833c005.Annotation,</i> <i>noises1aiw2slcvv20200104t10583120200104t10585903064903833c005.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw2slcvv20200104t10583120200104t10585903064903833c005.Annotation,</i> <i>products1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>noises1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>calibrations1aiw3slcvv20200104t10583220200104t10590003064903833c006.Annotation,</i> <i>mapoverlay.Annotation, product.preview.Annotation</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
<i>Category ok for : generalProductInformation</i>				

Amalfi Quality Control

#	Inspection	Date	Duration	Status
21	Checks if Grid Reference Category is correctly defined. <i>No Index classification in product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
22	Checks if Information Classification is correctly defined. <i>Classification ok for : generalProductInformation</i>	2020-01-04T12:38:26	0.006 s	Passed
23	Checks if Quality Information Category is correctly defined. <i>No Index classification in product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
24	Checks if Index Category is correctly defined. <i>No Index classification in product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
25	Checks if Extra Files are present in product directory. <i>No Extra Files found in product directory.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.011 s	Passed
26	Checks if Quality Information Classification is correctly defined. <i>No Index classification in product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.007 s	Passed
27	Checks if Platform Classification is correctly defined. <i>Platform Classification is Ok.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.002 s	Passed
28	Checks missing lines number is less than 30%. <i>No missing lines in the product.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.008 s	Passed
29	Checks pointing status value is Normal Pointing Mode. <i>Platform pointing is nominal.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.444 s	Passed
30	Checks Interferometric Wide Swath product length is no longer than 30 min. <i>Interferometric Wide Swath product acquisition in 0 min is acceptable.</i>	2020-01-04T12:38:26	0.013 s	Passed

Table 3. All Applicable Inspections Plan (Automatic)



Lampiran 2

Proses Topsar Split



Lampiran 3

Code Snaphu tahap phase unwrapping

Microsoft Windows [Version 10.0.19045.5247]

(c) Microsoft Corporation. All rights reserved.

E:\UIN WALISONGO\SKRIPSI\OLAHDATA
SNAP\2023\snaphu-v1.4.2_win64\bin>snaphu

snaphu v1.4.2

usage: snaphu [options] infile linelength [options]

most common options:

- t use topography mode costs (default)
- d use deformation mode costs
- s use smooth-solution mode costs
- f <filename> read configuration parameters from file
- o <filename> write output to file
- a <filename> read amplitude data from file
- c <filename> read correlation data from file
- b <decimal> perpendicular baseline (meters)
- i do initialization and exit
- l <filename> log runtime parameters to file
- v give verbose output
- mst use MST algorithm for initialization (default)
- mcf use MCF algorithm for initialization

type snaphu -h for a complete list of options

E:\UIN WALISONGO\SKRIPSI\OLAHDATA

SNAP\2023\snaphu-v1.4.2_win64\bin>snaphu -f snaphu.conf

Phase_ifg_VH_1Jan2023_30Des2023.snaphu.img 6863

snaphu v1.4.2

27 parameters input from file snaphu.conf (84 lines total)

Logging run-time parameters to file snaphu.log

Creating temporary directory snaphu_tiles_3532

Unwrapping tile at row 0, column 0 (pid 11292)
Unwrapping tile at row 0, column 1 (pid 6360)
Unwrapping tile at row 0, column 2 (pid 3420)
Unwrapping tile at row 0, column 3 (pid 7744)
Unwrapping tile at row 0, column 4 (pid 4436)
Unwrapping tile at row 0, column 5 (pid 10396)
Unwrapping tile at row 0, column 6 (pid 10516)
Unwrapping tile at row 0, column 7 (pid 8344)
Unwrapping tile at row 0, column 8 (pid 4888)
Unwrapping tile at row 0, column 9 (pid 7180)
Unwrapping tile at row 1, column 0 (pid 3868)
Unwrapping tile at row 1, column 1 (pid 1400)
Unwrapping tile at row 1, column 2 (pid 11840)
Unwrapping tile at row 1, column 3 (pid 3996)
Unwrapping tile at row 1, column 4 (pid 7744)
Unwrapping tile at row 1, column 5 (pid 8832)
Unwrapping tile at row 1, column 6 (pid 9884)
Unwrapping tile at row 1, column 7 (pid 12232)
Unwrapping tile at row 1, column 8 (pid 12020)
Unwrapping tile at row 1, column 9 (pid 8296)
Unwrapping tile at row 2, column 0 (pid 9264)
Unwrapping tile at row 2, column 1 (pid 11732)
Unwrapping tile at row 2, column 2 (pid 4836)
Unwrapping tile at row 2, column 3 (pid 10424)
Unwrapping tile at row 2, column 4 (pid 1660)
Unwrapping tile at row 2, column 5 (pid 9472)
Unwrapping tile at row 2, column 6 (pid 7440)
Unwrapping tile at row 2, column 7 (pid 320)
Unwrapping tile at row 2, column 8 (pid 11340)
Unwrapping tile at row 2, column 9 (pid 2476)
Unwrapping tile at row 3, column 0 (pid 6024)
Unwrapping tile at row 3, column 1 (pid 3216)
Unwrapping tile at row 3, column 2 (pid 12176)
Unwrapping tile at row 3, column 3 (pid 4208)
Unwrapping tile at row 3, column 4 (pid 7524)
Unwrapping tile at row 3, column 5 (pid 9208)

Unwrapping tile at row 3, column 6 (pid 10824)
Unwrapping tile at row 3, column 7 (pid 5572)
Unwrapping tile at row 3, column 8 (pid 6704)
Unwrapping tile at row 3, column 9 (pid 816)
Unwrapping tile at row 4, column 0 (pid 11740)
Unwrapping tile at row 4, column 1 (pid 11472)
Unwrapping tile at row 4, column 2 (pid 5500)
Unwrapping tile at row 4, column 3 (pid 2220)
Unwrapping tile at row 4, column 4 (pid 6324)
Unwrapping tile at row 4, column 5 (pid 6312)
Unwrapping tile at row 4, column 6 (pid 11364)
Unwrapping tile at row 4, column 7 (pid 6720)
Unwrapping tile at row 4, column 8 (pid 6392)
Unwrapping tile at row 4, column 9 (pid 10608)
Unwrapping tile at row 5, column 0 (pid 5900)
Unwrapping tile at row 5, column 1 (pid 9080)
Unwrapping tile at row 5, column 2 (pid 1100)
Unwrapping tile at row 5, column 3 (pid 6184)
Unwrapping tile at row 5, column 4 (pid 8188)
Unwrapping tile at row 5, column 5 (pid 1656)
Unwrapping tile at row 5, column 6 (pid 2492)
Unwrapping tile at row 5, column 7 (pid 11400)
Unwrapping tile at row 5, column 8 (pid 7264)
Unwrapping tile at row 5, column 9 (pid 9240)
Unwrapping tile at row 6, column 0 (pid 12232)
Unwrapping tile at row 6, column 1 (pid 2640)
Unwrapping tile at row 6, column 2 (pid 9976)
Unwrapping tile at row 6, column 3 (pid 4048)
Unwrapping tile at row 6, column 4 (pid 2044)
Unwrapping tile at row 6, column 5 (pid 4716)
Unwrapping tile at row 6, column 6 (pid 7612)
Unwrapping tile at row 6, column 7 (pid 10808)
Unwrapping tile at row 6, column 8 (pid 10456)
Unwrapping tile at row 6, column 9 (pid 6700)
Unwrapping tile at row 7, column 0 (pid 3024)
Unwrapping tile at row 7, column 1 (pid 7676)

Unwrapping tile at row 7, column 2 (pid 4400)
Unwrapping tile at row 7, column 3 (pid 5512)
Unwrapping tile at row 7, column 4 (pid 10824)
Unwrapping tile at row 7, column 5 (pid 10796)
Unwrapping tile at row 7, column 6 (pid 8720)
Unwrapping tile at row 7, column 7 (pid 732)
Unwrapping tile at row 7, column 8 (pid 6096)
Unwrapping tile at row 7, column 9 (pid 3392)
Unwrapping tile at row 8, column 0 (pid 11928)
Unwrapping tile at row 8, column 1 (pid 1680)
Unwrapping tile at row 8, column 2 (pid 1288)
Unwrapping tile at row 8, column 3 (pid 11844)
Unwrapping tile at row 8, column 4 (pid 10292)
Unwrapping tile at row 8, column 5 (pid 9068)
Unwrapping tile at row 8, column 6 (pid 2204)
Unwrapping tile at row 8, column 7 (pid 8712)
Unwrapping tile at row 8, column 8 (pid 6352)
Unwrapping tile at row 8, column 9 (pid 4100)
Unwrapping tile at row 9, column 0 (pid 4664)
Unwrapping tile at row 9, column 1 (pid 12180)
Unwrapping tile at row 9, column 2 (pid 8936)
Unwrapping tile at row 9, column 3 (pid 9684)
Unwrapping tile at row 9, column 4 (pid 8208)
Unwrapping tile at row 9, column 5 (pid 11348)
Unwrapping tile at row 9, column 6 (pid 10536)
Unwrapping tile at row 9, column 7 (pid 10632)
Unwrapping tile at row 9, column 8 (pid 6132)
Unwrapping tile at row 9, column 9 (pid 2124)

Assembling tiles

Running optimizer for secondary network

Flow increment: 1 (Total improvements: 0)
282 incremental costs clipped to avoid overflow (0.000%)
Treesize: 202180 Pivots: 3372775 Improvements: 27272

Flow increment: 2 (Total improvements: 27272)
2 incremental costs clipped to avoid overflow (0.000%)
Treesize: 202180 Pivots: 82 Improvements: 0

Flow increment: 3 (Total improvements: 27272)
2 incremental costs clipped to avoid overflow (0.000%)
Treesize: 202180 Pivots: 2 Improvements: 0
Flow increment: 4 (Total improvements: 27272)
2 incremental costs clipped to avoid overflow (0.000%)
Treesize: 202180 Pivots: 0 Improvements: 0
Integrating secondary flows
Output written to file
UnwPhase_ifg_VH_1Jan2023_31Des2023.snaphu.img
Program snaphu done
Elapsed processor time: 3:30:05.88
Elapsed wall clock time: 2:33:06

E:\UIN WALISONGO\SKRIPSI\OLAHDATA
SNAP\2023\snaphu-v1.4.2_win64\bin>

Lampiran 4

Code sparse point processing

```
if $7.coh_IW1_VV_01Jan2020_31Dec2020 <=  
0.8 then NaN else  
$7.displacement_VV_slvl_01Jan2020
```



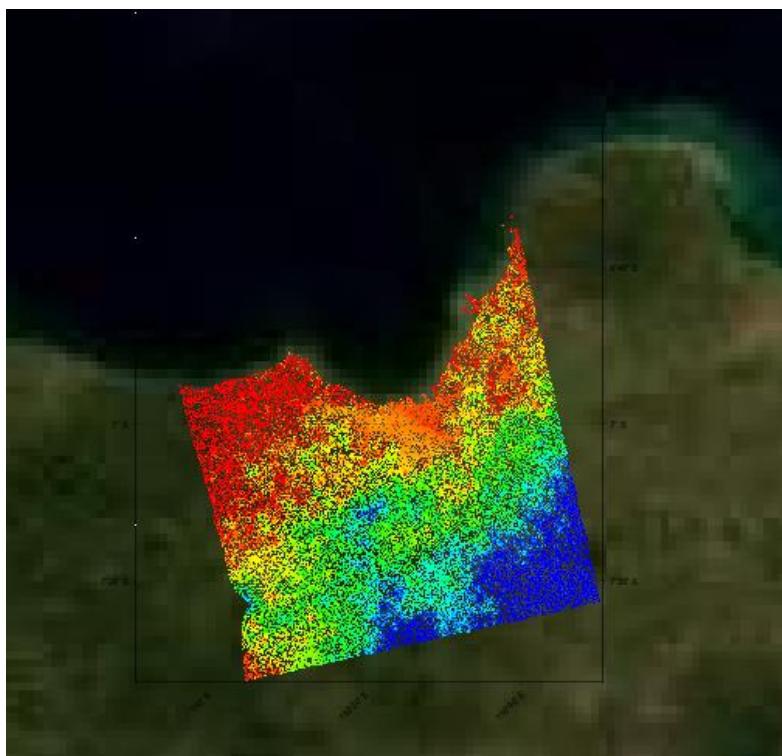
OK **Cancel** **Help**

Lampiran 5

Geocoding

```
FITTED_CS["Image CS based on EPSG:WGS 84",
PARAM_MT["Affine",
PARAMETER["num_row", 3],
PARAMETER["num_col", 3],
PARAMETER["elt_0_0", 0.00008983152841195215],
PARAMETER["elt_0_2", 109.85021082325736],
PARAMETER["elt_1_1", -0.00008983152841195215],
PARAMETER["elt_1_2", -6.361461688704682]],
GEOGCS["WGS 84",
DATUM["World Geodetic System 1984",
SPHEROID["WGS 84", 6378137.0, 298.257223563,
AUTHORITY["EPSG","7030"]],
AUTHORITY["EPSG","6326"]],
PRIMEM["Greenwich", 0.0, AUTHORITY["EPSG","8901"]],
UNIT["degree", 0.017453292519943295],
AXIS["Geodetic longitude", EAST],
AXIS["Geodetic latitude", NORTH],
AUTHORITY["EPSG","4326"]]
GEOGCS["World Geodetic System 1984",
DATUM["World Geodetic System 1984",
SPHEROID["WGS 84", 6378137.0, 298.257223563,
AUTHORITY["EPSG","7030"]],
```

AUTHORITY["EPSG","6326"]],
PRIMEM["Greenwich", 0.0, AUTHORITY["EPSG","8901"]],
UNIT["degree", 0.017453292519943295],
AXIS["Geodetic longitude", EAST],
AXIS["Geodetic latitude", NORTH],
AUTHORITY["EPSG","6326"]]



Lampiran 6

Tabel Warna CSV dan Geopack

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	pmt 20	pmt 21	pmt 22	pmt 23	OBJECTID				
2	0,29	0,38	0,30	0,37	558				
3	0,20	0,20	0,14	0,16	318				
4	0,25	0,29	0,33	0,38	230				
5	0,30	0,36	0,28	0,35	64				
6	0,10	0,11	0,13	0,17	105				
7	0,38	0,37	0,31	0,34	446				
8	0,13	0,18	0,17	0,15	570				
9	0,10	0,09	0,07	0,08	238				
10	0,20	0,19	0,21	0,12	106				
11	0,15	0,12	0,13	0,23	116				
12	0,19	0,18	0,20	0,20	209				
13	0,18	0,19	0,18	0,19	149				
14	0,16	0,18	0,19	0,25	329				
15	0,21	0,17	0,18	0,19	214				
16									
17									
18									
19									
20									
21									

CSV PALLET COLOR PMT



Select destination and press ENTER or choose Paste

```

# Band: pmt demak 2020
# Sample unit: null
# Minimum sample value: -0.23592029738938436
# Maximum sample value: 0.01709144757478498
# Number of colors: 256
ID;Sample;RGB
0;-0.23592029738938436;255 0 0
1;-0.23492809446795623;255 4 0
2;-0.23393589154652814;255 8 0
3;-0.2329436886251;255 12 0
4;-0.2319514857036719;255 16 0
5;-0.23095928278224379;255 20 0
6;-0.22996707986081566;255 24 0
7;-0.22897487693938756;255 28 0
8;-0.22798267401795944;255 32 0
9;-0.2269904710965313;255 36 0
10;-0.2259982681751032;255 40 0
11;-0.22500606525367509;255 44 0
12;-0.224013862332247;255 48 0
13;-0.22302165941081886;255 52 0
14;-0.22202945648939076;255 56 0
15;-0.22103725356796264;255 60 0
16;-0.2200450506465345;255 64 0
17;-0.21905284772510641;255 68 0
18;-0.2180606448036783;255 72 0
19;-0.21706844188225016;255 76 0
20;-0.21607623896082206;255 80 0
21;-0.21508403603939394;255 84 0
22;-0.21409183311796584;255 88 0
23;-0.21309963019653771;255 92 0
24;-0.2121074272751096;255 96 0
25;-0.2111152243536815;255 100 0
26;-0.21012302143225337;255 104 0
27;-0.20913081851082527;255 108 0

```

28;-0.20813861558939714;255	112	0
29;-0.20714641266796902;255	116	0
30;-0.20615420974654092;255	120	0
31;-0.2051620068251128;255	124	0
32;-0.20416980390368467;255	128	0
33;-0.20317760098225657;255	132	0
34;-0.20218539806082844;255	136	0
35;-0.20119319513940034;255	140	0
36;-0.20020099221797222;255	144	0
37;-0.19920878929654412;255	148	0
38;-0.198216586375116;255	152	0
39;-0.19722438345368787;255	156	0
40;-0.19623218053225977;255	160	0
41;-0.19523997761083164;255	164	0
42;-0.19424777468940352;255	168	0
43;-0.19325557176797542;255	172	0
44;-0.1922633688465473;255	176	0
45;-0.19127116592511917;255	180	0
46;-0.19027896300369107;255	184	0
47;-0.18928676008226294;255	188	0
48;-0.18829455716083485;255	192	0
49;-0.18730235423940672;255	196	0
50;-0.18631015131797862;255	200	0
51;-0.1853179483965505;255	204	0
52;-0.18432574547512237;255	208	0
53;-0.18333354255369427;255	212	0
54;-0.18234133963226615;255	216	0
55;-0.18134913671083802;255	220	0
56;-0.18035693378940992;255	224	0
57;-0.1793647308679818;255	228	0
58;-0.1783725279465537;255	232	0
59;-0.17738032502512557;255	236	0
60;-0.17638812210369748;255	240	0
61;-0.17539591918226935;255	244	0

62;-0.17440371626084122;255	248	0
63;-0.17341151333941313;255	252	0
64;-0.172419310417985;254	255	0
65;-0.17142710749655687;250	255	0
66;-0.17043490457512878;246	255	0
67;-0.16944270165370065;242	255	0
68;-0.16845049873227252;238	255	0
69;-0.16745829581084443;234	255	0
70;-0.16646609288941633;230	255	0
71;-0.16547388996798817;226	255	0
72;-0.16448168704656008;222	255	0
73;-0.16348948412513198;218	255	0
74;-0.16249728120370385;214	255	0
75;-0.16150507828227573;210	255	0
76;-0.16051287536084763;206	255	0
77;-0.1595206724394195;202	255	0
78;-0.15852846951799138;198	255	0
79;-0.15753626659656328;194	255	0
80;-0.15654406367513515;190	255	0
81;-0.15555186075370703;186	255	0
82;-0.15455965783227893;182	255	0
83;-0.15356745491085083;178	255	0
84;-0.1525752519894227;174	255	0
85;-0.15158304906799458;170	255	0
86;-0.15059084614656648;166	255	0
87;-0.14959864322513836;162	255	0
88;-0.14860644030371023;158	255	0
89;-0.14761423738228213;154	255	0
90;-0.146622034460854;150	255	0
91;-0.14562983153942588;146	255	0
92;-0.14463762861799778;142	255	0
93;-0.14364542569656968;138	255	0
94;-0.14265322277514153;134	255	0
95;-0.14166101985371343;130	255	0

96;-0.14066881693228533;126	255	0
97;-0.1396766140108572;122	255	0
98;-0.13868441108942908;118	255	0
99;-0.13769220816800098;114	255	0
100;-0.13670000524657286;110	255	0
101;-0.13570780232514473;106	255	0
102;-0.13471559940371663;102	255	0
103;-0.1337233964822885;98	255	0
104;-0.13273119356086038;94	255	0
105;-0.13173899063943229;90	255	0
106;-0.1307467877180042;86	255	0
107;-0.12975458479657606;82	255	0
108;-0.12876238187514794;78	255	0
109;-0.12777017895371984;74	255	0
110;-0.1267779760322917;70	255	0
111;-0.12578577311086359;66	255	0
112;-0.12479357018943549;62	255	0
113;-0.12380136726800736;58	255	0
114;-0.12280916434657925;54	255	0
115;-0.12181696142515114;50	255	0
116;-0.12082475850372303;46	255	0
117;-0.1198325555822949;42	255	0
118;-0.11884035266086679;38	255	0
119;-0.11784814973943868;34	255	0
120;-0.11685594681801056;30	255	0
121;-0.11586374389658245;26	255	0
122;-0.11487154097515433;22	255	0
123;-0.11387933805372621;18	255	0
124;-0.1128871351322981;14	255	0
125;-0.11189493221086999;10	255	0
126;-0.11090272928944186;6	255	0
127;-0.10991052636801377;2	255	0
128;-0.10891832344658564;0	255	2
129;-0.10792612052515752;0	255	6

130;-0.10693391760372942;0	255	10
131;-0.10594171468230129;0	255	14
132;-0.1049495117608732;0	255	18
133;-0.10395730883944507;0	255	22
134;-0.10296510591801694;0	255	26
135;-0.10197290299658884;0	255	30
136;-0.10098070007516072;0	255	34
137;-0.09998849715373262;0	255	38
138;-0.0989962942323045;0	255	42
139;-0.09800409131087637;0	255	46
140;-0.09701188838944827;0	255	50
141;-0.09601968546802014;0	255	54
142;-0.09502748254659202;0	255	58
143;-0.09403527962516392;0	255	62
144;-0.0930430767037358;0	255	66
145;-0.0920508737823077;0	255	70
146;-0.09105867086087957;0	255	74
147;-0.09006646793945144;0	255	78
148;-0.08907426501802335;0	255	82
149;-0.08808206209659522;0	255	86
150;-0.08708985917516712;0	255	90
151;-0.086097656253739;0	255	94
152;-0.08510545333231087;0	255	98
153;-0.08411325041088277;0	255	102
154;-0.08312104748945465;0	255	106
155;-0.08212884456802655;0	255	110
156;-0.08113664164659842;0	255	114
157;-0.0801444387251703;0	255	118
158;-0.0791522358037422;0	255	122
159;-0.07816003288231407;0	255	126
160;-0.07716782996088595;0	255	130
161;-0.07617562703945785;0	255	134
162;-0.07518342411802972;0	255	138
163;-0.07419122119660163;0	255	142

164;-0.0731990182751735;0	255	146
165;-0.07220681535374537;0	255	150
166;-0.07121461243231728;0	255	154
167;-0.07022240951088915;0	255	158
168;-0.06923020658946105;0	255	162
169;-0.06823800366803293;0	255	166
170;-0.0672458007466048;0	255	170
171;-0.0662535978251767;0	255	174
172;-0.06526139490374858;0	255	178
173;-0.06426919198232048;0	255	182
174;-0.06327698906089235;0	255	186
175;-0.06228478613946423;0	255	190
176;-0.06129258321803613;0	255	194
177;-0.060300380296608;0	255	198
178;-0.059308177375179905;0	255	202
179;-0.05831597445375178;0	255	206
180;-0.05732377153232365;0	255	210
181;-0.056331568610895555;0	255	214
182;-0.05533936568946743;0	255	218
183;-0.0543471627680393;0	255	222
184;-0.053354959846611205;0	255	226
185;-0.05236275692518308;0	255	230
186;-0.05137055400375498;0	255	234
187;-0.050378351082326855;0	255	238
188;-0.04938614816089873;0	255	242
189;-0.04839394523947063;0	255	246
190;-0.047401742318042506;0	255	250
191;-0.04640953939661441;0	255	254
192;-0.04541733647518628;0	252	255
193;-0.044425133553758156;0	248	255
194;-0.04343293063233006;0	244	255
195;-0.04244072771090193;0	240	255
196;-0.041448524789473834;0	236	255
197;-0.04045632186804571;0	232	255

198;-0.03946411894661758;0	228	255
199;-0.038471916025189484;0	224	255
200;-0.03747971310376136;0	220	255
201;-0.03648751018233326;0	216	255
202;-0.035495307260905135;0	212	255
203;-0.03450310433947701;0	208	255
204;-0.03351090141804891;0	204	255
205;-0.032518698496620785;0	200	255
206;-0.03152649557519266;0	196	255
207;-0.03053429265376456;0	192	255
208;-0.029542089732336435;0	188	255
209;-0.028549886810908337;0	184	255
210;-0.02755768388948021;0	180	255
211;-0.026565480968052085;0	176	255
212;-0.025573278046623987;0	172	255
213;-0.02458107512519586;0	168	255
214;-0.023588872203767763;0	164	255
215;-0.022596669282339638;0	160	255
216;-0.021604466360911512;0	156	255
217;-0.020612263439483414;0	152	255
218;-0.019620060518055288;0	148	255
219;-0.01862785759662719;0	144	255
220;-0.017635654675199064;0	140	255
221;-0.016643451753770938;0	136	255
222;-0.01565124883234284;0	132	255
223;-0.014659045910914714;0	128	255
224;-0.013666842989486616;0	124	255
225;-0.01267464006805849;0	120	255
226;-0.011682437146630364;0	116	255
227;-0.010690234225202266;0	112	255
228;-0.00969803130377414;0	108	255
229;-0.008705828382346015;0	104	255
230;-0.007713625460917917;0	100	255
231;-0.006721422539489791;0	96	255

232;-0.005729219618061693;0	92	255
233;-0.004737016696633567;0	88	255
234;-0.003744813775205441;0	84	255
235;-0.002752610853777343;0	80	255
236;-0.0017604079323492172;0	76	255
237;-7.68205010921191E-4;0	72	255
238;2.2399791050700668E-4;0	68	255
239;0.0012162008319351325;0	64	255
240;0.0022084037533632306;0	60	255
241;0.0032006066747913564;0	56	255
242;0.0041928095962194545;0	52	255
243;0.00518501251764758;0	48	255
244;0.006177215439075706;0	44	255
245;0.007169418360503804;0	40	255
246;0.00816162128193193;0	36	255
247;0.009153824203360056;0	32	255
248;0.010146027124788154;0	28	255
249;0.01113823004621628;0	24	255
250;0.012130432967644378;0	20	255
251;0.013122635889072504;0	16	255
252;0.01411483881050063;0	12	255
253;0.015107041731928728;0	8	255
254;0.016099244653356826;0	4	255
255;0.01709144757478498;0	0	255

Lampiran 7

Tabel Rata-Rata Penurunan Muka Tanah Tahun 2020-2023

OBJECTID	WADMKC	WADMKK	WADMPR	SHAPE_Leng	SHAPE_Area	pmt 20	pmt 21	pmt 22	pmt 23
1	64 Bonang	Demak	Jawa Tengah	0.58842307724	0.0072059826537	0,30	0,36	0,28	0,35
2	105 Demak	Demak	Jawa Tengah	0.7361582592	0.0051860406753	0,10	0,11	0,13	0,17
3	106 Dempet	Demak	Jawa Tengah	0.59079041934	0.0052558461726	0,20	0,19	0,21	0,12
4	116 Gajah	Demak	Jawa Tengah	0.42576571214	0.0042372386474	0,15	0,12	0,13	0,23
5	149 Guntur	Demak	Jawa Tengah	0.57345011189	0.0051831039256	0,18	0,19	0,18	0,19
6	209 Karanganyar	Demak	Jawa Tengah	0.45989790394	0.0058837632161	0,19	0,18	0,20	0,20
7	214 Karangawen	Demak	Jawa Tengah	0.63534591616	0.0067376915013	0,21	0,17	0,18	0,19
8	230 Karangtengah	Demak	Jawa Tengah	0.60610840997	0.0046509942905	0,25	0,29	0,33	0,38
9	238 Kebonagung	Demak	Jawa Tengah	0.44392605433	0.0036630796214	0,10	0,09	0,07	0,08
10	318 Mijen	Demak	Jawa Tengah	0.46684492681	0.004388280049	0,20	0,20	0,14	0,16
11	329 Mranggen	Demak	Jawa Tengah	0.63966979115	0.0063820425905	0,16	0,18	0,19	0,25
12	446 Sayung	Demak	Jawa Tengah	0.93983406094	0.0053891900026	0,38	0,37	0,31	0,34
13	558 Wedung	Demak	Jawa Tengah	0.70662942105	0.010637806347	0,29	0,38	0,30	0,37
14	570 Wonosalam	Demak	Jawa Tengah	0.67119977416	0.0051486516628	0,13	0,18	0,17	0,15

Lampiran 8

Cek Plagiasi

SKRIPSI_2-1738768036603

ORIGINALITY REPORT

17 SIMILARITY INDEX	16% INTERNET SOURCES	4% PUBLICATIONS	9% STUDENT PAPERS
-------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	4%
2	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	2%
3	repository.its.ac.id Internet Source	2%
4	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	1%
5	pa-bengkalis.go.id Internet Source	1%
6	satudata.lampungbaratkab.go.id Internet Source	1%
7	etd.repository.ugm.ac.id Internet Source	<1%
8	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1%
9	Submitted to UIN Walisongo Student Paper	<1%
10	personal.broadinstitute.org Internet Source	<1%

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Siti Mufarikah
Tempat, Tanggal Lahir : Demak, 06 Juni 2003
Alamat Rumah : Dusun Ketapang, Desa Berahan Wetan Rt 02/Rw 04 Kec. Wedung Kab. Demak Jawa Tengah
No. Telepon : 083117394829
E-mail : farikahsm@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri Berahan Wetan 1 (2009 – 2015)
2. SMP Negeri 1 Wedung (2015 – 2018)
3. SMK Telekomunikasi Tunas Harapan (2018 – 2021)
4. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang (2021 – 2025)

Semarang, 15 Februari 2025



Siti Mufarikah
NIM.2108026028