

**APLIKASI METODE *DINSAR* PADA CITRA SENTINEL 1 UNTUK
MENENTUKAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH DI DAERAH
PESISIR KALIGAWA, SEMARANG**

SKRIPSI

Oleh:
ZULFA AQTIA PUSPITARINI
NIM . 17640007



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**APLIKASI METODE *DINSAR* PADA CITRA SENTINEL 1 UNTUK
MENENTUKAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH DI DAERAH
PESISIR KALIGawe, SEMARANG**

SKRIPSI

Diajukan kepada :

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh :

**Zulfa Aqtia Puspitarini
NIM . 17640007**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

APLIKASI METODE DINSAR PADA CITRA SENTINEL 1 UNTUK
MENENTUKAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH DI DAERAH
PESISIR KALIGAWA, SEMARANG

SKRIPSI

Oleh:
Zulfa Aqta Puspitarini
NIM. 17640007

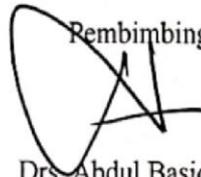
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 13 Mei 2022

Pembimbing I



Drs. Cecep Rustana, BSc(Hons), PhD
NIP. 19590729 1989602 1 001

Pembimbing II



Drs. Abdul Basid, M.Si.
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

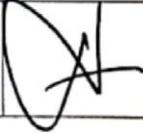
HALAMAN PENGESAHAN

APLIKASI METODE *DINSAR* PADA CITRA SENTINEL 1 UNTUK
MENENTUKAN PENURUNAN PERMUKAAN TANAH DI DAERAH
PESISIR KALIGAWÉ, SEMARANG

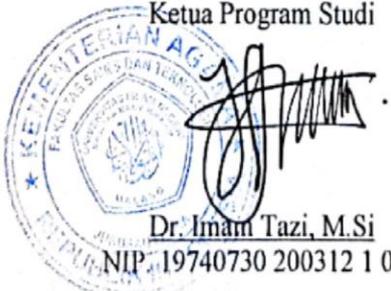
SKRIPSI

Oleh:
Zulfa Aqia Puspitarini
NIM. 17640007

Telah diperiksa dan disahkan
Pada tanggal 13 Mei 2022

Ketua Penguji :	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji I :	<u>Ahmad Luthfin, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota Penguji II :	<u>Drs. Cecep Rustana, BSc(Hons), PhD</u> NIP. 19590729 1989602 1 001	
Anggota Penguji III :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi


Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zulfa Aqtia Puspitarini
NIM : 17640007
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : APLIKASI METODE *DINSAR* PADA CITRA SENTINEL
1 UNTUK MENENTUKAN PENURUNAN
PERMUKAAN TANAH DI DAERAH PESISIR
KALIGAWA, SEMARANG

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang,
Yang Membuat Pernyataan




Zulfa Aqtia Puspitarini
NIM. 17640007

MOTTO

It's okay to fall, it's okay to get hurt. All you have to do is get back up and keep running. Allah is always with you

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini dengan penuh rasa cinta, syukur dan terimakasih yang sebesar - besarnya untuk :

1. Kedua orang tuaku tercinta Ibu Istiyani dan Bapak Agus Waluya yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, kasih sayang serta pengorbanan yang begitu luar biasa untuk masa depanku.
2. Untuk adikku Nafiisah Agtia Waluya dan Lathif Naufal Waluya yang senantiasa mendorong dan menghiburku selama ini.
3. Untuk Pakde dan Budhe yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, dan kasih sayang yang begitu luar biasa untukku
4. Para dosen dan pembimbing, yang telah memberikan petunjuk, pengetahuan, bimbingan dan pengarahan selama penyusunan penulisan sehingga mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.
5. Teruntuk sahabatku Hestiningsih, Dhea Z, dan Afifah Ayuditya yang selalu memberiku semangat dan motivasi selama ini.
6. Teruntuk Bpk Ngasim dan Lintang Songo yang memberikan doa dan dukungannya selama ini.
7. Teman - Teman seperjuangan Fisika 17 dan terutama keluarga besar Geofisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan semangat dan doa selama ini hingga terselesaikannya skripsi ini.

Untuk semua pihak yang tidak saya sebutkan, terima kasih atas semuanya. Semoga Allah SWT senantiasa membalas setiap kebaikan kalian. Serta kehidupan kalian semua juga dimudahkan dan diberkahi selalu oleh Allah SWT.

KATA PENGANTAR

Segala puji atas kebesaran Allah yang telah menciptakan alam semesta dalam suatu keteraturan hingga dari lisan terucap sejuta rasa syukur kehadiran Allah Swt, karena atas limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga kami diberikan kesempatan dan kesehatan, dapat mengerjakan skripsi yang berjudul “**Aplikasi Metode *Dinsar* Pada Citra Sentinel 1 Untuk Menentukan Penurunan Permukaan Tanah Di Daerah Pesisir Kaligawe, Semarang**” dengan baik shalawat serta salam semoga tercurah kepda baginda Nabi Muhammad Saw, yang diutus ke permukaan bumi ini untuk menyempurnakan akhlaq manusia, menuntun umat dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya, yaitu al Dinnul Islam.

Penulis menyadari bahawa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan proposal skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan proposal skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr.Sri Harini M,Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Cecep E Rustana dan Drs. Abdul Basid selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, pengarahan, saran dan motivasi dalam penulisan skripsi.

5. Seluruh dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah berkenan mendidik dan membimbing penulis.
6. Staff administrasi serta laboran yang membantu memperlancar skripsi.
7. Dr. Fiolenta Marpaung, M. Sc selaku Pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan di Pusat Teknologi Sumberdaya Wilayah Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTPSWBPPT).
8. Segenap peneliti, staf dan teman - teman di Pusat Teknologi Sumberdaya Wilayah Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (PTPSWBPPT) yang telah banyak membantu dan memberikan pelayanan, pengalaman, serta wawasan selama proses penelitian.
9. Keluarga tercinta yang selalu mendukung penuh serta memberikan doa yang tak pernah henti demi kesuksesan penulis dalam segala hal, baik moral maupun materil nya.
10. Mbah, Bapak, Mama, Adik serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan baik riil maupun materiil selama proses penelitian.
11. Hesti , Dhea yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan proposal skripsi ini.

Dalam penyusunan proposal skripsi ini. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan. Untuk itu penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi orang lain.

Malang, 15 Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
ABSTRAK	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penurunan Muka Tanah.....	6
2.2 Diferensial Interferometer SAR.....	12
2.3 Misi Sentinel 1.....	15
2.4 Software SNAP dan QGIS.....	17
2.5 Penelitian Sebelumnya Yang Relevan.....	18
2.6 Kerangka Berpikir.....	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.3 Jenis Data.....	26
3.4 Proses Pengolahan Data.....	27
3.4.1 Pengumpulan Data.....	27
3.4.2 <i>Pre - Processing</i> Data.....	28
3.4.3 Pengolahan <i>DinSAR</i>	28
3.4.4 Diagram Alir.....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pre-Processing Data.....	33
4.1.1 Proses Pengumpulan Data dan Pemilihan Data.....	34
4.1.2 Koregrasi Citra IW 1.....	36
4.1.3 Pembentukan Interferogram dan Estimasi Koherensi.....	37
4.2 Processing data.....	39
4.2.1 Tahap TOPSAR <i>Deburst</i>	39
4.2.2 Tahapan Penghapusan Topografi Fase <i>Removal</i>	41

4.2.3 Tahap Goldstein.....	42
4.2.4 Tahap Multilooking.....	44
4.2.5 Tahap Unwrapping.....	45
4.2.6 Konversi Phase ke tinggi.....	46
4.2.7 Tahap Geocoding.....	48
4.3 Pembahasan.....	49
4.3.1 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2018.....	49
4.3.2 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2019.....	52
4.3.3 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2020.....	55
4.4 Integrasi Penelitian dengan Al Qur'an dan Hadist.....	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	73
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Citra SAR yang Digunakan Pada Tahun 2018 - 2020	27
Tabel 4. 1 Data Orbit Citra7.....	33
Tabel 4. 2 Besar Nilai Penurunan Muka Tanah Tahun 2018 – 2020.....	58
Tabel 4. 3 Angka Kepadatan Penduduk tahun 2018 – 2020	66
Tabel 4. 4 Penurunan Muka Tanah per tahun	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Malang dan Semarang.....	11
Gambar 2. 2 Geometri Three Pass Interferometry (Sharav,2003)	14
Gambar 2.3 Sentinel 1 (ESA, 2013).....	15
Gambar 2.4 Kerangka Berpikir	25
Gambar 3. 1 Diagram Processing Data	32
Gambar 4.1 Citra pada tanggal 28 Januari 2020	35
Gambar 4.2 Citra pada tanggal 29 Desember 2020	35
Gambar 4.3 Estimasi Jarak Utama dan Pasangan citra	36
Gambar 4.4 Koregrasi Citra pada tanggal 28 Januari 2020	37
Gambar 4.5 Koregrasi Citra Pada Tanggal 29 Januari 2020.....	37
Gambar 4.6 Phase pasangan citra.....	38
Gambar 4.7 Koherensi Pasangan citra	38
Gambar 4.8 Gambar tahapan pembentukan interferogram dan koherensi pasangan citra.....	40
Gambar 4.9 Gambar tahapan pembentukan interferogram dan koherensi pasangan citra.....	41
Gambar 4.10 Gambar Sebelum tahapan TOPSAR Deburst pasangan citra	42
Gambar 4.11 Gambar Sebelum tahapan Penghapusan topografi fase removal pasangan citra	43
Gambar 4.12 Hasil Tahapan Multilooking Phase pasangan citra	45
Gambar 4. 13 Hasil Tahapan Unwrapping Phase pasangan citra	46
Gambar 4. 14 Hasil Tahapan Phase to Displacement	47
Gambar 4. 15 Hasil Overlay Peta <i>Displacmenet</i> Pada Goolge Earth	48
Gambar 4. 16 Peta Sebaran Koordinat Cartesian I	50
Gambar 4. 17 Peta Sebaran Koordinat Cartesian II	53
Gambar 4. 18 Peta Sebaran Koordinat Cartesian III.....	56
Gambar 4. 19 Peta Tutupan Lahan Tahun 2018	61
Gambar 4. 20 Peta Tutupan Lahan Tahun 2019	62
Gambar 4. 21 Peta Tutupan Lahan Tahun 2020	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data penelitian.....	76
Lampiran 2. Foto Kegiatan.....	79
Lampiran 3. Bukti Konsultasi.....	80

ABSTRAK

Puspitarini, Zulfa Aqtia. 2022. **Aplikasi Metode *Dinsar* Pada Citra Sentinel 1 Untuk Menentukan Penurunan Permukaan Tanah Di Daerah Pesisir Kaligawe, Semarang**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Drs.Cecep Rustana,BSc(Hons),PhD. (II) Dr. Abdul Basid, M.Si.

Kata Kunci: Daerah Pesisir Kaligawe, *Land Subsidence*, Metode *DinSAR*

Penelitian geofisika dengan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* telah dilakukan untuk pemetaan zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) di Daerah Pesisir Kaligawe, Semarang. Penelitian ini untuk menentukan besar laju penurunan tanah (*Land Subsidence*) pada tahun 2018 – 2020 di daerah Pesisir Kaligawe, Semarang dengan menggunakan metode *DinSar*. Pengolahan data menggunakan Software SNAP dan QGIS. Dalam penelitian ini data citra satelit sentinel IA Level 1 dapat diunduh di *Alaska Satellite Facility* atau laman <https://search.asf.alaska.edu/#/> dan diambil dalam periode 2018-2020. Hasil yang diperoleh dalam tiga tahun terakhir (2018-2020) terjadi penurunan permukaan tanah di wilayah pesisir Kaligawe dengan penurunan muka tanah (*Land Subsidence*) pada tahun 2018 sebesar 2.43 cm. Pada tahun 2019 sebesar 1.67 cm dan Pada tahun 2020 sebesar 5.21 cm. Akibat penambahan penduduk yg menyebabkan peningkatan penggunaan air tanah dan kondisi geografis yang terjadi semua kuadran mengalami penurunan yang merata.

ABSTRACT

Puspitarini, Zulfa Aqtia. 2022. **Application of the Dinsar Method on Sentinel 1 Imagery to Determine Land Subsidence in the Kaligawe Coastal Area, Semarang.** Essay. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Supervisor: (I) Drs.CecepRustana,BSc(Hons),PhD. (II) Dr. Abdul Basid, M.Si.

Keywords: Kaligawe Coastal Area, Land Subsidence, DinSAR Method.

Geophysical research using the Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) method has been carried out for mapping the Land Subsidence zone in the Kaligawe Coastal Area, Semarang. This study is to determine the rate of land subsidence (Land Subsidence) in 2018 - 2020 years in the Kaligawe Coastal area, Semarang using the DinSar method. Data processing using SNAP and QGIS software. In this study, IA Level 1 sentinel satellite imagery data can be downloaded at the Alaska Satellite Facility or the <https://search.asf.alaska.edu/#/> page and taken in the 2018-2020 period. The results obtained in the last three years (2018-2020) have been that there has been a land subsidence in the coastal area of Kaligawe with land subsidence rate in 2018 of 2.43 cm. In 2019 it was 1.67 cm and in 2020 it was 5.21 cm. As a result of population growth which causes an increase in the use of ground water and geographical conditions that occur in all quadrants, it has decreased evenly.

ABSTRAK

لتحديد انخفاض مستوى الأرض في منطقة Sentinel 1 بوسبيتريني، زلفا أفتية. 2022. تطبيق طريقة دينسار في صور كاليغاوي الساحلية ، سيمارانغ. اطروحه. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، M.Si.د. عبد الباسط، (II) د. سيب رستانا، بكالوريوس (مع مرتبة الشرف)، دكتوراه (I) :مالانغ. المشرف .الكلمات المفتاحية: منطقة كاليغاوي الساحلية، هبوط الأرض، طريقة دينسار

لرسم خرائط (DInSAR) وأجريت بحوث جيوفيزيائية باستخدام طريقة رادار الفتحة الاصطناعية لقياس التداخل التفاضلي تهدف هذه الدراسة إلى تحديد حجم معدل هبوط الأراضي .لمناطق هبوط الأراضي في المناطق الساحلية كاليغاوي، سيمارانغ معالجة البيانات باستخدام .في سنوات 2018 - 2020 في منطقة كاليغاوي الساحلية ، سيمارانغ باستخدام طريقة دينسار IA في هذه الدراسة ، يمكن تنزيل بيانات صور الأقمار الصناعية الخافرة من المستوى 1 من QGIS و SNAP برنامج والتقاطها في الفترة 2018- /#/https://search.asf.alaska.edu/ في مرفق ألاسكا للأقمار الصناعية أو صفحة 2020. أدت النتائج التي تم الحصول عليها في السنوات الثلاث الماضية (2018-2020) إلى انخفاض مستويات الأراضي في المناطق الساحلية في كاليغاوي بمتوسط معدل هبوط الأراضي في عام 2018 بلغ 2.43 سم / سنة. في عام 2019 كان بسبب الزيادة في عدد السكان التي تسبب زيادة في استخدام المياه .1.67 سم / سنة وفي عام 2020 كان 5.21 سم / سنة .الجوفية والظروف الجغرافية التي تحدث ، انخفضت جميع الأرباع بالتساوي

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan suatu proses yang didasarkan atas suatu datum tertentu berupa kerangka referensi geodesi terhadap gerakan muka tanah yang didalamnya terdapat berbagai macam variabel penyebabnya. Beberapa penyebab terjadinya penurunan muka tanah adalah penurunan karena beban bangunan, pengambilan air tanah yang berlebihan. Kota Semarang adalah ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang mengalami perkembangan dan pertumbuhan kota yang pesat. Namun, jika ditinjau dari kondisi geologinya, Kota Semarang merupakan wilayah yang terbentuk dari endapan aluvial yang masih tergolong muda yang mana masih memungkinkan terjadinya kompaksi yang dapat menyebabkan fenomena penurunan muka tanah. Selain itu, pengambilan air tanah juga berkontribusi dalam proses penurunan muka tanah di Kota Semarang (Lukman,2017). Daerah Kaligawe Semarang dipilih sebagai lokasi penelitian karena daerah ini merupakan daerah industri yang setiap harinya memerlukan banyak air tanah dan berada di wilayah pesisir.

Dalam perkembangannya wilayah pesisir adalah daerah yang rawan penurunan tanah atau biasa disebut *subsidence*. Proses yang terjadi dapat dipicu secara alami seperti akibat pemadatan sedimen, tektonik, atau proses isostasi maupun adanya peran manusia seperti akibat ekstraksi fluida bawah permukaan atau penambahan beban di permukaan. Terlebih jika wilayah tersebut merupakan daerah perkotaan pada penduduk. Wilayah di sepanjang pesisir utara Pulau Jawa memiliki riwayat buruk terkait *land subsidence*, dimana beberapa kota besar yang berada pada jalur tersebut sudah mengalami penurunan muka tanah seperti Jakarta,

Semarang, Pekalongan, dan Surabaya. Masing-masing wilayah memiliki intensitas penurunan yang nilainya variatif, mulai dari nilai terendah 1 cm/tahun hingga 28 cm/tahun.

Di dalam Al - Qur'an, banyak dikisahkan tentang berbagai macam bencana yang ditimpakan kepada manusia yang sering berbuat kerusakan. Seperti yang dijelaskan dalam surat ArRum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”
(Al Qur'an dan Terjemahannya, 2008).

Berdasarkan penjelasan dari ayat diatas, dikaitkan dengan bencana alam yaitu penurunan tanah dan eksploitasi air tanah. Maka Allah SWT memerintahkan kepada kita untuk mengantisipasi bencana yang terjadi sejak dini. Jika sudah dideteksi sejak dini maka warga sekitar telah mengantisipasi untuk meninggalkan daerah yang rawan terjadi penurunan muka tanah.

Proses penurunan muka tanah sangat lambat sehingga tidak mudah untuk melakukan pengukurannya. Salah satu metode yang memanfaatkan teknologi radar dalam melakukan deteksi penurunan muka tanah adalah DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). Citra radar Sentinel 1A dengan metode *DInSAR* dapat memungkinkan pengukuran penurunan muka tanah hingga akurasi sentimeter (cm).

Metode *DinSAR* (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*) adalah metode yang dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan penurunan muka tanah dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter (cm). Selain itu pengamatan dengan metode *DinSAR* ini dapat dilakukan

dengan biaya rendah menggunakan citra *SAR Sentinel 1* yang disediakan gratis dan diolah dengan perangkat *SNAP* yang berbasis sumber terbuka (*open source*).

Keunggulan memanfaatkan teknologi radar dalam penginderaan jarak jauh dibandingkan survei langsung ke lapangan yaitu produk atau hasil perekaman melalui teknologi radar dapat dibuat ulang dalam waktu yang relatif cepat. Hasil penginderaan jauh memiliki daerah cakupan yang lebih luas sesuai keadaan aslinya, dan lebih lengkap. Hasil penginderaan jauh dapat diinterpretasi dengan mudah, baik secara dua dimensi maupun tiga dimensi dan teknologi radar mampu menjangkau lokasi fenomena Geosfer yang sulit untuk diteliti. Jadi, penginderaan jauh dengan radar sangat cocok digunakan dalam mengidentifikasi pemetaan penurunan tanah di daerah industri Kaligawe. Hal ini dikarenakan survei dilakukan dengan meneliti beberapa Kabupaten/Kota terdekat dimana wilayahnya sangat luas dan sesuai dengan keadaan aslinya serta jika menggunakan penelitian survei langsung kelapangan tidak bisa dilakukan secara berkala karena daerah penurunan tanah dibutuhkan data secara berkala.

Penelitian terdahulu tentang penurunan tanah yang digunakan sebagai penunjang penelitian ini adalah penelitian dengan judul *Zonasi Penurunan Muka Air Tanah Di Wilayah Pesisir. Berdasarkan Teknik Geofisika Gayaberat Mikro 4d (Studi Kasus: Daerah Industri Kaligawe Semarang)* (Dino dan Supriyadi, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zonasi penurunan muka air tanah di kawasan industri Kaligawe, pesisir Semarang, dengan menggunakan teknik geofisika gaya berat mikro 4D dan gradien vertikal 4D serta dibantu dengan leveling untuk melihat amblesan tanah yang terjadi di daerah penelitian. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada bulan Juni 2004 dan

November 2005 dalam jarak rentang waktu 16 bulan dengan 47 stasiun pengamatan. Disimpulkan bahwa hampir 70% daerah penelitian mengalami penurunan muka air tanah dan amblesan. Hal itu didukung dengan adanya penurunan muka air tanah yang terpantau dari beberapa sumur pantau yang berada di sekitar daerah penelitian. Penelitian lain untuk memperkuat penelitian ini adalah Analisis Penurunan Muka Tanah Sebagian Kota Semarang Tahun 2017/2019 Menggunakan Citra Sentinel 1A dan Teknik *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Yusuf dan Nur, 2019) penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai dan laju penurunan muka tanah (PMT) di sebagian Kota Semarang tahun 2017 – 2019 menggunakan metode *DInSAR two pass interferometry*. Menggunakan pemanfaatan citra Sentinel 1A dengan metode *DInSAR* dapat membantu mempercepat analisis dan estimasi laju penurunan muka tanah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *DInSAR Two Pass Interferometri* dengan memanfaatkan dua citra yang memiliki waktu perekaman berbeda. Hasil pemrosesan menunjukkan bahwa terjadi penurunan muka tanah sebesar 9,5 cm dalam kurun waktu dua tahun dengan laju penurunan muka tanah sebesar 4,75 cm/tahun. Tingkat kesalahan hasil estimasi penurunan muka tanah sangat kecil yaitu sebesar $2,7285 \times 10^4$. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu metode yang digunakan berbeda lalu diperbaharui tahun terbaru diharapkan penurunan muka tanah dapat diamati dengan baik menggunakan citra sentinel 1 dan data yang diambil pada tahun terbaru sehingga dapat dijadikan perbedaan penurunan muka tanah yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah berapa besar laju penurunan tanah (*Land Subsidence*) pada tahun 2018– 2020 di daerah Pesisir Kaligawe, Semarang dengan menggunakan metode *DinSar*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah untuk menentukan besar laju penurunan tanah (*Land Subsidence*) pada tahun 2018 – 2020 tahun di daerah Pesisir Kaligawe, Semarang dengan menggunakan metode *DinSar*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi pemerintah dan masyarakat khususnya dilakukan penelitian ini adalah sejak dini kemungkinan terfatal untuk menghindari dampaknya dan akan sangat bermanfaat dalam proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian pembangunan yang berkelanjutan.
2. Bagi peneliti, yaitu memperdalam ilmu pengetahuan tentang Citra Sentinel 1A menggunakan metode *DinSar* dan mencoba memberikan sumbangsih pikiran yang dapat bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah didefinisikan sebagai penurunan tanah relatif terhadap suatu bidang referensi tertentu yang dianggap stabil. Penurunan muka tanah dapat terjadi secara perlahan ataupun terjadi secara mendadak. Dalam banyak kejadian, penurunan muka tanah berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan muka tanah yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun, untuk penurunan muka tanah yang bersifat secara perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik (Hardiyanto, 2011).

Berbagai penyebab penurunan muka tanah dapat digolongkan menjadi (Rusmen, 2012):

1. Penurunan muka tanah alami
2. Pengambilan bahan cair di perut bumi (*Groundwater extraction*)
3. Beban berat (*Settlement*)
4. Aktivitas penambangan
5. Sedimentasi daerah cekungan
6. Adanya rongga bawah tanah yang menyebabkan SinkHole.

Fenomena penurunan muka tanah yang terjadi, mengakibatkan beberapa wilayah yang mengalami terkena dampak yang nyata dari hal tersebut. Tidak hanya kerugian dari segi materi tetapi juga mengakibatkan penurunan kualitas hidup. Dampak yang ditimbulkan diantaranya:

1. Amblesan tanah dan genangan air
2. Rusaknya infrastruktur
3. Intrusi air laut
4. Menyebabkan banjir rob.

Penurunan muka tanah sering terjadi di kota – kota besar diakibatkan karena meningkatnya kebutuhan air di area perkotaan dan aktivitas pemompaan air melalui akuifer (Dang dkk., 2014). Penggunaan air tanah secara berlebih banyak dilakukan pada zona – zona yang berpotensi akuifer, semakin banyak ditemukan zona potensi akuifer, maka semakin banyak sumur – sumur penampung di sekitar area tersebut, sehingga rentan mengalami penurunan tanah (Mochammad dan Saepuloh, 2017). Menurut Zhou (2017) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa setelah musim kemarau, *subsidence* meningkat, ini diikuti dengan meningkatnya suhu dan aktivitas pengambilan air tanah. Sedangkan Ketika musim penghujan, *subsidence* terlihat mengecil. Dapat disimpulkan bahwa nilai *subsidence* non linier menurun terhadap variasi musim. Menurut Suharsono (2021) menjelaskan bahwa penurunan muka tanah di Kota Semarang sedikitnya disebabkan oleh tiga faktor. Pertama, pengambilan air bawah tanah secara berlebihan atau eksploitasi air tanah, kedua karena konsolidasi tanah alluvial yang masih muda dan ketiga akibat beban bangunan berlebihan.

Selain itu, Kondisi geologi juga menjadi salah satu faktor terjadinya deformasi atau penurunan tanah seperti yang terjadi di beberapa daerah yang tanahnya mengandung pasir (*sand*), pasir bercampur tanah liat (*sand clay*), tanah liat (*loamy sand*) dan lempung (*clay loam*). Daerah yang didominasi oleh alluvial yang belum terkonsolidasi juga rentan mengalami penurunan tanah jika ada pembebanan di atasnya, pembebanan ini akan menekan formasi sedimen (Dang

dkk., 2014). Bahan endapan aluvial merupakan bahan pembentuk tanah yang sangat potensial, karena bahannya merupakan hasil pengendapan atau akumulasi, pada umumnya terletak di daerah datar, dekat dengan sumber air, dan merupakan bahan yang relatif mudah jenuh air. Bahan endapan ini juga berhubungan erat dengan akumulasi bahan hasil erosi, sehingga bila daerah yang tererosi merupakan daerah yang kaya sumber hara maka endapan aluvial di daerah hilirnya pun kaya akan sumber hara. Namun bila daerah hulu sungainya merupakan daerah miskin sumber hara, maka daerah endapan aluvialnya pun akan miskin sumber hara (Prasetyo dkk, 2012).

Untuk itu memahami struktur geologi wilayah yang akan diteliti, yakni kota Semarang, khususnya daerah Kaligawe dan sekitarnya menjadi sangat penting untuk memahami kemungkinan penurunan permukaan tanah.

Sebagaimana diketahui bahwa Geologi Kota Semarang lebih dominan oleh endapan alluvial berumur Kuartar terutama yang menempati bagian Utara. Di bagian Selatan yang berupa tinggian didominasi oleh batuan vulkanik dan tampak beberapa struktur patahan. Adapun stratigrafi yang melandasi Kota Semarang dijelaskan secara singkat di bawah ini (Hayati.N, 2013).

a. Aluvium

Merupakan endapan aluvium pantai, sungai dan danau. Endapan pantai litologinya yaitu terdiri dari lempung, lanau dan pasir dan campuran diantaranya mencapai ketebalan 50 m atau lebih. Berumur Holosen.

b. Seri Batuan Gunung Api Gajah Mungkur dan Kaligesik

Batuan Gunung Api Gajah Mungkur berupa lava andesit sedangkan batuan Gunung Api Kaligesik berupa lava basalt, berwarna abu - abu kehitaman. Berumur Pleistocene Holocene

c. Formasi Jongkong

Breksi andesit hornblende augite dan aliran lava, sebelumnya disebut batuan Gunung Api Ungaran Lama. Breksi andesit berwarna coklat kehitaman. Berumur Pleistocene.

d. Formasi Damar

Batuannya terdiri dari batu pasir tufaan, konglomerat, dan breksi vulkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berbutir halus kasar. Berumur Pleistocene.

e. Formasi Kaligetas

Batuannya terdiri dari breksi dan lahar dengan sisipan lava dan tuf halus sampai kasar, setempat di bagian bawahnya ditemukan batu lempung mengandung moluska dan batu pasir tufaan. Halus sedang, porositas sedang, Berumur Pliocene.

f. Formasi Kalibeng

Batuannya terdiri dari napal, batu pasir tufaan dan batu gamping. Berumur Miocene Pliocene.

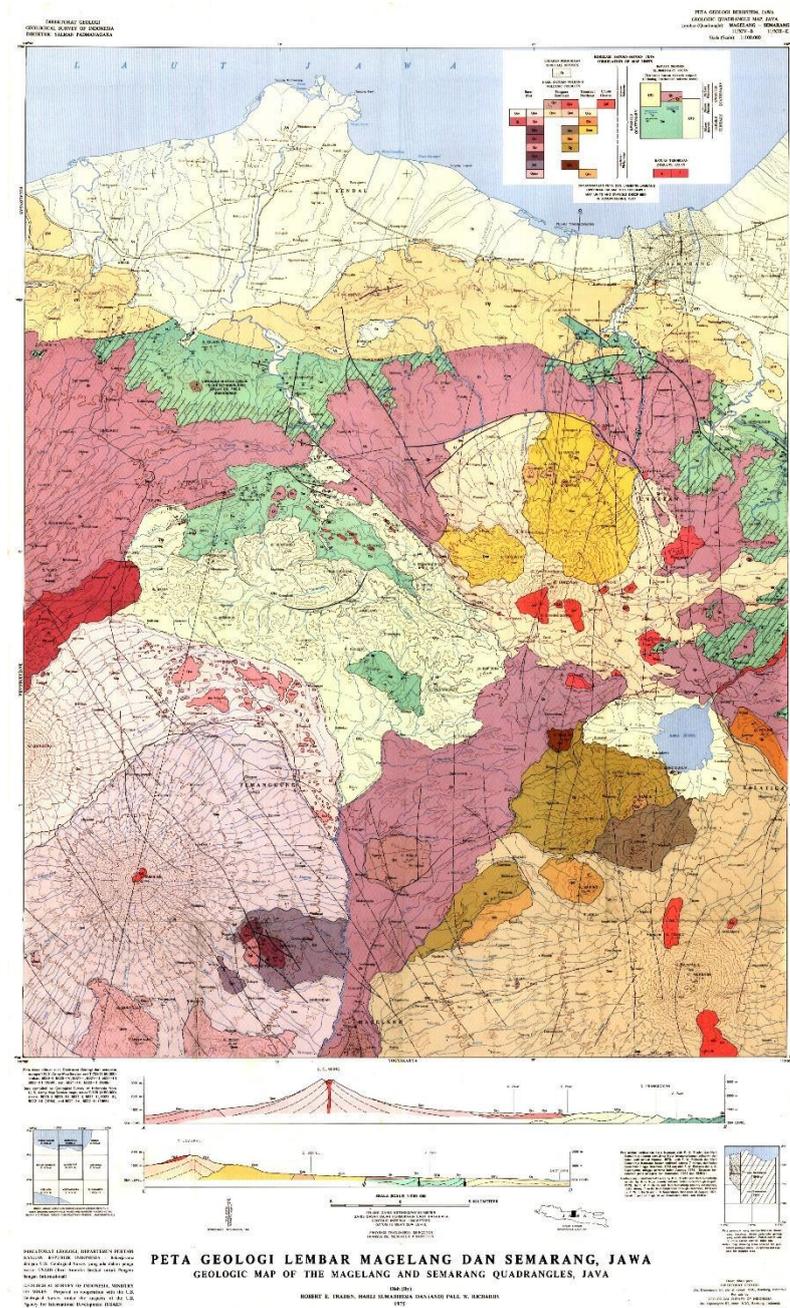
g. Formasi Kerek

Perselingan batu lempung, napal, batu pasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik dan batu gamping. Berumur Miocene.

Struktur geologi di daerah Semarang umumnya berupa sesar yang terdiri dari sesar normal, sesar geser dan sesar naik. Sesar normal relatif berarah Barat Timur sebagian agak cembung ke arah utara, sesar geser berarah Utara Selatan hingga barat laut tenggara, sedangkan sesar normal relatif berarah Barat Timur. Sesar - Sesar tersebut pada umumnya terjadi pada batuan Formasi Kerek, Formasi Kalibening dan Formasi Damar yang berumur kuartar dan tersier. Geseran - geseran

intensif sering terlihat pada batuan napal dan batu lempung, yang terlihat jelas pada Formasi Kalibiuk di daerah Manyaran dan Tinjomoyo. Struktur sesar ini adalah salah satu penyebab daerah tersebut mempunyai jalur “lemah”, sehingga daerah tersebut mudah tererosi dan terjadi gerakan tanah.

Hardi et al., (2008) menuliskan bahwa daerah Semarang dan sekitarnya telah mengalami beberapa periode deformasi. Sesar - sesar yang dihasilkan pada zaman Tersier terutama berarah Utara Selatan, Timur Laut Barat Daya dan Barat Timur. Sesar yang berarah umum Utara Selatan adalah sesar mengangan. Sesar yang berarah umum Timur Laut Barat Daya adalah sesar normal, sedangkan sesar yang berarah Barat Timur yang merupakan sesar mengiri. Pada zaman Kuarter, sesar-sesar ini teraktifkan kembali. Sesar yang berarah Utara Selatan teraktifkan lagi sebagai sesar mengiri, dan Sesar Kaligarang termasuk dalam kelompok ini. Sesar yang berarah Timur Laut Barat Daya diaktifkan lagi sebagai sesar naik, termasuk di dalamnya Sesar Kali Pengkol dan Sesar Kali Kreo, sedangkan pada sesar yang berarah Barat Timur teraktifkan lagi sebagai sesar naik mengangan.



Gambar 2.1 Peta Geologi Lembar Malang dan Semarang

Selain itu juga stratigrafi Kota Semarang pada Batuan sedimen fasies laut berumur Tersier tersingkap di bagian tengah Semarang (Tinjomoyo dan Kaliajang). Di sepanjang Sungai Garang dan Kripiik terdapat batuan sedimen fasies darat terdiri dari: batupasir vulkanik, konglomerat, dan breksi vulkanik. Endapan *alluvial* yang terdiri dari: kerikil, pasir, pasir lanauan, lanau dan lempung menempati bagian utara

daerah penelitian. Ketebalan endapan *alluvial* mencapai 50 m atau lebih. Susunan stratigrafi bagian utara daerah Semarang dapat diamati pada gambar dibawah ini :

IT	PENELITI		BLOW 1969	PENULIS, 2000		STRATIGRAFI SEMARANG	P E M E R I A N	
	LUMUR	SATUAN KRONO STRATIGRAFI		KOLOM BATUAN	SATUAN BATUAN			
2,1	HOLOSEN		NEOGEN		ENDP. ALUVIAL SUNGAI ENDP. PASANG SURUT ENDP. DATARAN DELTA	Qas Qsp Qsd	Endapan Aluvial Sungai : lempung, lanau, pasir dan kerikil - bongkah Endapan Pasang Surut : Lempung Lunik, lanau, pasir halus-sedang Endapan Dataran Delta : Lempung, Lanau, pasir dan kerikil. <i>gisang brasi</i>	
	6	Awal		PLISTOSEN	N23	SATUAN BATUAN BREKSI VULKANIK	Qb	FORMASI NOTOPURO Terdiri dari breksi vulkanik, batupasir tufaan dan konglomerat. <i>Ketidak Selarasan</i>
	6	Awal		PLISTOSEN	N22	SATUAN BATUAN BATUPASIR - BREKSI VULKANIK	Qtd	FORMASI DAMAR Terdiri dari batupasir tufaan, tufa, konglomerat, breksi vulkanik dan lempung hitam. <i>Ketidak Selarasan</i>
	6	Awal		PLISTOSEN	N21	SATUAN BATUAN NAPAL - BATUPASIR GAMPINGAN	TPk	FORMASI KALIBIUK Terdiri dari napal, pasir gampingan, batulempung biru.
	6	Awal		PLISTOSEN	N20			
	6	Awal		PLISTOSEN	N19			
6	Awal	PLISTOSEN	N18					
	6	Awal	MIOSEN					

Gambar 2.2 Susunan Stratigrafi daerah Semarang bagian Utara (Marsudi,2000)

Berdasarkan Gambar 2.2, yang berumur paling tua adalah batuan sedimen fasies laut (Formasi Kalibiuk), terdiri dari perselingan antara napal batupasir tufaan, dan batupasir gampingan, yang secara keseluruhan didominasi lapisan napal. Satuan batupasir- breksi vulkanik (Formasi Damar) terletak tidak selaras di atas satuan batuan napal-batupasir gampingan (Formasi Kalibiuk) dan terletak tidak selaras dengan satuan batuan breksi vulkanik (Formasi Notopuro) yang berada di atasnya. Satuan batuan yang paling muda terdiri dari endapan dataran delta, endapan pasang surut, dan endapan *alluvial* sungai.

2.2 Diferensial Interferometer SAR

Diferensial interferometri bertujuan untuk mengamati pergerakan tanah atau deformasi tanah dengan menggunakan teknik *repeat pass interferometry* (Purna,2009). Beda *phase* interferometrik mengandung informasi dari profil

topografi (φ_{topo}), perbedaan lintasan orbit (φ_{orb}), deformasi (φ_{defo}), atmosfer (φ_{atm}), dan *noise* fase (φ_{noise}) dan dapat dituliskan sebagai berikut (Hanssen 2001):

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{topografi}} + \varphi_{\text{deformasi}} + \varphi_{\text{atmosfer}} + \varphi_{\text{noise}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\Delta\varphi$	= Beda <i>phase</i> antara dua citra <i>SAR</i>
$\varphi_{\text{topografi}}$	= <i>Phase</i> topografi (sebagai <i>reference</i>)
$\varphi_{\text{deformasi}}$	= <i>Phase</i> deformasi
$\varphi_{\text{atmosfer}}$	= <i>Phase</i> pengaruh atmosfer
φ_{noise}	= <i>Phase</i> pengaruh <i>noise</i>

Sehingga untuk mendapatkan efek deformasi harus dilakukan metode *differential interferometry* atau dengan mendiferensialkan 2 interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi, *noise*, dan atmosfer. Beberapa metode yang digunakan dalam membuat *differential interferometry* adalah (Hanssen, 2001) sebagai berikut:

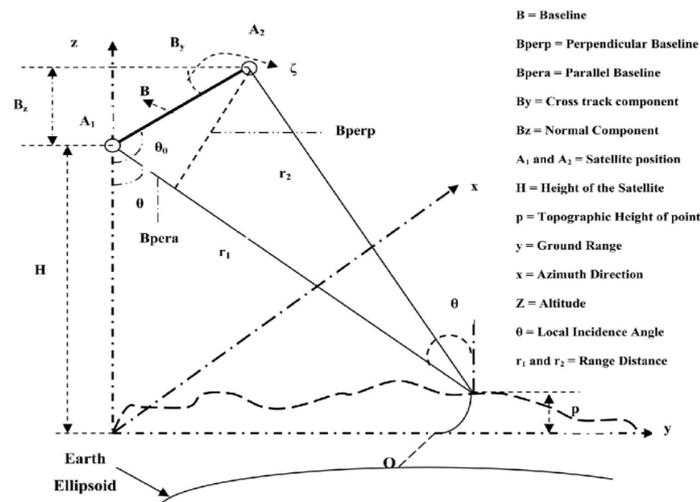
a. Metode *two pass interferometry*

Metode ini menggunakan model elevasi (*DEM*) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, dilakukan menggunakan *baseline* (Massonnet, 1998). Kesalahan yang terdapat pada data *DEM* ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan diferensial *InSAR*. Dengan kata lain, semakin baik kualitas *DEM* yang digunakan, maka semakin baik pula citra diferensial *InSAR* yang dihasilkan.

b. Metode *three pass interferometry*

Dalam hal ini, citra *SAR* yang digunakan berjumlah 3 buah, dengan dua data *SAR* memiliki jeda waktu pengamatan yang relatif pendek, dan pengamatan kedua waktunya terpisah lebih panjang. Pada Gambar 2.2 terdapat 3 akuisisi pencitraan dengan posisi satelit S1, S2 dan S2'. Pasangan data S1 dan S2 memiliki rentang

waktu yang pendek diolah untuk menghasilkan *topographic pair* untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan *differential InSAR* dan diasumsikan tidak terjadi deformasi pada selang waktu pengamatan tersebut. *Displacement* terjadi antara citra pertama dan ketiga (S1 dan S2').



Gambar 2. 2 Geometri Three Pass Interferometry (Sharav,2003)

c. Metode *four pass interferometry*

Teknik ini dapat dilakukan manakala *baseline* untuk dua pasang data tidak memungkinkan, atau tidak tersedia *DEM* pada area penelitian. Dengan menggunakan metode *topographic pair* dan *deformation pair* bersifat independen (Hanssen, 2001).

Ternyata dalam firman Allah juga dijelaskan system radar yaitu pada surat

Qs – Shad Ayat 36 :

فَسَخَّرْنَا لَهُ الرِّيحَ تَجْرِي بِأَمْرِهِ رُخَاءً حَيْثُ أَصَابَ

“Maka, Kami menundukkan kepadanya angin yang berhembus dengan baik menurut perintahnya ke mana saja yang ia kehendaki.”

Berdasarkan ayat diatas dimana angin yang berhembus merupakan gelombang yang memindahkan energi tertentu dari satu tempat ketempat lainnya

sama halnya seperti radar yang merekam energinya lalu dipantulkan ke permukaan bumi. Setelah energinya berpindah tempat maka dari itu baik angin maupun radar sangat bermanfaat bagi kehidupan di permukaan bumi yang membawa kebaikan untuk manusia

2.3 Misi Sentinel 1

Misi Sentinel 1 terdiri dari konstelasi dua satelit yang mengorbit, beroperasi pada siang dan malam dengan menggunakan citra SAR kanal C, yang memungkinkan diperoleh citra tanpa pengaruh cuaca. Sentinel 1 akan bekerja dalam mode operasi yang telah diprogram untuk menghindari konflik dan menghasilkan arsip data jangka panjang yang konsisten yang dibuat untuk aplikasi berdasarkan deret lama. Sentinel 1 adalah yang pertama dari lima misi yang dikembangkan ESA untuk inisiatif Copernicus. Satelit Sentinel 1 pertama (Sentinel 1A) direncanakan diluncurkan di roket SOYUZ dari Spaceport Eropa di Guyana Prancis pada awal tahun 2014 diikuti oleh yang kedua (Sentinel 1B) pada tahun 2016. Panduan Misi Sentinel 1 menyediakan solusi *High* Deskripsi tingkat tujuan misi, deskripsi satelit dan Segmen Tanah. Ini juga mengenalkan misi warisan terkait, area tematik, karakteristik orbit dan cakupan, muatan instrumen dan produk data (ESA, 2013).



Gambar 2.3 Sentinel 1 (ESA, 2013)

Sentinel 1A akan berada di orbit polar dekat matahari, dengan siklus pengulangan 12 hari dan 175 orbit per siklus untuk satu satelit. Kedua Sentinel 1A dan Sentinel 1B berbagai bidang orbit yang sama dengan perbedaan pentanahan orbital 180° . Dengan kedua satelit yang beroperasi, siklus berulang adalah 6 hari.

Sentinel 1A milik Eropa yang diluncurkan pada 3 April 2014 membawa sensor *SAR* untuk merekam permukaan bumi dengan menggunakan *C-band* beroperasi pada frekuensi 5,405 Hz yang dapat menembus awan dan hujan sehingga hasil perekamannya bebas dari gangguan cuaca dan dapat beroperasi siang dan malam sehingga baik digunakan untuk berbagai aplikasi di Indonesia yang mana data citra optik sering tertutupi oleh awan (Indra, 2011).

Beroperasi dengan dual polarisasi (HH+HV, VV+VH) sehingga baik digunakan untuk mengidentifikasi dan membedakan klasifikasi penutup lahan dan pengenalan karakteristik objek termasuk penutup lahan hutan rakyat. Dual polarisasi tersebut diperoleh melalui salah satu mode perekaman *Interferometric Wide (IW)*, dan dengan ketersediaan data level 1 GRDH (*Ground Range Detected High*) yang mampu mengkombinasikan lebar perekaman yang luas (250 km) dengan resolusi spasial menengah (resolusi *Azimuth x Range*: 22 x 20 m) tetapi dapat diolah hingga menghasilkan piksel dengan ukuran 10 x 10 m, kemampuan ini menjadi kelebihan untuk menurunkan informasi terkait cadangan karbon hutan pada wilayah yang luas tetapi dengan informasi yang cukup detail. Kemampuan penetrasi *band-C* pada kanopi pohon merupakan keunggulan dari data *SAR* Sentinel 1A dibanding data optis sehingga parameter fisik biomassa (*dbh/diameter at breast height* dan tinggi pohon) untuk menurunkan informasi cadangan karbon dapat terdeteksi lebih banyak (Indra, 2011). Data *SAR* (*Synthetic Aperture Radar*) dari

deri sensor Sentinel 1 merupakan data *SAR* yang akan digunakan dalam penelitian ini.

2.4 Software SNAP dan QGIS

SNAP (Sentinel Application Platform) merupakan *software* yang diciptakan untuk mengolah data citra satelit Sentinel (Sentinel-1 Toolbox, Sentinel-2 Toolbox dan Sentinel-3 Toolbox). Namun, *software* ini juga dapat dimanfaatkan untuk pengolahan data citra satelit lainnya. *SNAP* merupakan inovasi platform yang dibiayai oleh ESA SEOM.

Kelebihan *SNAP* Sebagai *software* yang tersedia gratis, *SNAP* memiliki beberapa kelebihan dalam pengolahan citra satelit, contohnya:

1. *SNAP* tersedia secara gratis untuk Windows, MAC OS X dan Unix dan dapat diunduh melalui <http://step.esa.int/main/download/>.
2. Dikembangkan untuk mendukung Sentinel Toolboxes.

Sentinel merupakan citra satelit yang tersedia secara gratis dan memiliki resolusi spasial dan temporal lebih tinggi dibandingkan citra satelit gratis lainnya (LANDSAT, MODIS).

1. Dapat menampilkan citra satelit dengan sangat cepat, bahkan untuk citra dengan ukuran penyimpanan besar seperti giga-pixel.
2. Dapat menampilkan kerangka proses pengolahan data dengan *Graph Processing Framework (GPF)*.
3. *Layer* management yang handal dengan memungkinkan penambahan dan manipulasi *overlay* berbagai data.
4. Proses *reprojection* dan *ortho-rectification* yang akurat.

5. Dapat digunakan untuk proses geo-coding dan rectification menggunakan *ground control points (GCP)*.
6. Dapat mengunduh SRTM DEM dengan gratis sesuai daerah yang diinginkan.

Setelah data citra satelit Sentinel tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak SNAP, maka proses pengolahan data dilanjutkan untuk memetakan wilayah Kaligawe dan sekitarnya dengan menggunakan perangkat lunak QGIS. Secara spesifik, QGIS merupakan perangkat lunak untuk sistem informasi geografis yang bersifat open source dan gratis. QGIS atau yang dulunya dikenal sebagai Quantum GIS ialah salah satu proyek dari OSGeo sebuah organisasi nirlaba dan non pemerintah yang memiliki tujuan untuk menyatukan berbagai komunitas geospasial dari berbagai belahan penjuru dunia. Walaupun QGIS merupakan sebuah sistem informasi geografis yang bersifat gratis bukan berarti bahwa QGIS bisa dipandang sebelah mata. Seiring berjalannya waktu hingga sekarang, QGIS telah menjadi andalan dari berbagai kalangan, baik profesional, praktisi, maupun akademisi. Dapat dikatakan bahwa kemampuan QGIS bisa bersaing dengan perangkat lunak sistem informasi geografis lainnya yang bersifat berbayar. Sifatnya yang open source membuat perkembangan dari perangkat lunak ini menjadi cepat sehingga QGIS dapat cross-platform yang artinya kompatibel dengan berbagai macam sistem operasi, seperti Windows, MacOS X, dan juga Linux (Budiyanto, 2016).

2.5 Penelitian Sebelumnya Yang Relevan

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Selain itu, untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini.

Maka dalam kajian pustaka ini peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut :

1. Hasil Penelitian Dino G.P dan Supriyadi (2017)

Penelitian Dino G.P dan Supriyadi (2017) berjudul “Zonasi Penurunan Muka Air Tanah Di Wilayah Pesisir Berdasarkan Teknik Geofisika Gayaberat Mikro 4d (Studi Kasus: Daerah Industri Kaligawe - Semarang)” . berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Dengan memadukan metoda gayaberat mikro 4D dan gradien vertikal gayaberat 4D akan memiliki karakteristik dalam memberikan informasi anomali yang diberikan sehingga dapat digunakan untuk membantu dalam intepretasi. Dalam kasus penurunan muka airtanah didaerah industri Kaligawe - Semarang menunjukkan bahwa penggunaan gayaberat mikro 4D dan gradien vertikal gayaberat 4D secara bersamaan dapat membatu dalam proses intepretasi sehingga dapat diketahui batas-batas anomali dimana memberikan informasi zona-zona penurunan muka air tanah dan amblesan, dan hampir 70% daerah penelitian mengalami penurunan muka airtanah dan amblesan, hal ini didukung dengan adanya penurunan muka airtanah dari beberapa sumur pantau yang ada di sekitar daerah penelitian.

2. Hasil Penelitian Chytia dan Putu Pudja (2018)

Penelitian Chytia dan Putu Pudja (2018) berjudul “Analisis Penurunan Muka Tanah Dki Jakarta Dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar)” berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan Penurunan muka tanah DKI Jakarta dengan metode *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* dapat dihitung. Secara keseluruhan wilayah DKI Jakarta mengalami penurunan muka tanah. Wilayah

Jakarta Utara memiliki penurunan muka tanah terbesar selama interval waktu antara 2016 dan 2017. Dalam interval waktu dari 2016 – 2017 penurunan muka tanah di DKI Jakarta rata-rata sebesar $\sim -7,2$ cm/tahun. Wilayah administrasi Jakarta Barat $\sim -5,7$ cm/tahun, Jakarta Pusat $\sim -6,9$ cm/tahun, Jakarta Utara $\sim -8,2$ cm/tahun, Jakarta Timur $\sim -7,4$ cm/tahun, dan Jakarta Selatan $\sim -7,3$ cm/tahun.

3. Hasil Penelitian Yusuf dan Nur M. (2017)

Penelitian Yusuf dan Nur M. (2017) berjudul “Analisis Penurunan Muka Tanah Sebagian Kota Semarang Tahun 2017-2019 Menggunakan Citra Sentinel-1A dan Teknik *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*” berdasarkan penelitian dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil pemrosesan citra Sentinel 1A sebagian Kota Semarang tahun 2017-2019 menunjukkan bahwa terjadi penurunan muka tanah sebesar 9,5 cm dengan laju penurunan muka tanah sebesar 4,75 cm/tahun.

4. Hasil Penelitian Aditya F.N dan Dewi K. (2022)

Penelitian Aditya F.N dan Dewi K. (2022) berjudul “Deteksi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Metode *DinSAR* Dengan Data Sentinel 1-A(Studi Kasus: Wilayah Cekungan Bandung, Tahun 2020-2021)” berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil deteksi penurunan muka tanah (PMT) menggunakan metode DinSAR pada data citra Sentinel 1A menunjukkan bahwa pada kurun waktu tahun 2020—2021 telah terjadi PMT yang relatif tinggi -18 cm sampai dengan -21.3 cm di sebagian area wilayah Cekungan Bandung yaitu di Kecamatan Rancaekek, Cikeruh, Cijerah, Cimanggung, Margacinta, Dayeuh Kolot, Margahayu, Margaasih, Bandung Kulon, dan Babakan Ciparay. Nilai PMT tertinggi adalah sebesar -

21,3cm yang berada di wilayah Kecamatan Cileunyi. Dan analisis korelasi PMT DInSAR dan PMT GPS korelasi (r) : 0,739 yang berarti hubungannya cukup kuat

5. Hasil Penelitian Sendy A.Y., M.Taufik, dan Noorlaila H. (2020)

Penelitian Sendy A.Y., M.Taufik, dan Noorlaila H.. (2012) berjudul “Studi Pengamatan Penurunan Dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode *Differential Interferometri Synthetic Aperture Radar (Dinsar)* (Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo)” berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Dari hasil teknik DInSAR didapatkan besar rata-rata uplift antara 0 – 10 cm/tahun atau 0.02 cm/hari, sedangkan besar rata-rata subsidance antara 0 - -20 cm/th atau 0.05 cm/hari.

6. Hasil Penelitian Naufal D. dan Fauzi J.A (2021)

Penelitian Naufal D. dan Fauzi J.A (2021) berjudul “Studi Penurunan Muka Tanah menggunakan dinsar Tahun 2017 -2020 (Studi Kasus: Pesisir Kecamatan Sayung, Demak)” berdasarkan penelitain yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Kecepatan PMT dari hasil DInSAR yang telah dilakukan di Kecamatan Sayung pada tahun 2017 sampai 2020 mengalami laju PMT rata-rata sebesar $3,09 \pm 0,65$ cm/tahun. Penurunan terbesar berada di beberapa titik yang berlokasi di Desa Dombo dengan nilai sebesar 7,43cm/tahun. Sedangkan untuk wilayah yang mengalami penurunan rata-rata terbesar adalah Desa Jetaksari dengan nilai sebesar 5,23cm/tahun.

7. Hasil Penelitian Atina Q., Yudo P. dan Firman H. (2021)

Penelitian Atina Q., Yudo P. dan Firman H. (2021) berjudul “Analisis Penurunan Muka Tanah (Pmt) Menggunakan Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (Dinsar)* (Studi Kasus: Pesisir

Kabupaten Demak)” berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil analisis nilai perubahan ketinggian di wilayah pesisir Kabupaten Demak pada tahun 2018 dan 2020 menunjukkan Kecamatan Bonang memiliki PMT yang paling besar yaitu 10cm/tahun.s.d 1cm/tahun dan Kecamatan Sayung memiliki nilai KMT yang paling besar yaitu 4cm/tahun s.d 13cm/tahun karena adanya peninggian jalan untuk pembangunan jalan tol Demak-Semarang pada tahun 2020.

8. Hasil Penelitian Emerald A.A, Yudo P. dan Andri (2019)

Penelitian Emerald A.A, Yudo P. dan Andri (2019) berjudul “Analisis Korelasi Perubahan Pola Kawasan terbangun Terhadap Penurunan Muka Tanah Menggunakan Metode Index-Based Built-Up index (Ibi) Dan DInSAR (Studi Kasus : Kota Jakarta Utara)” berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil metode DInSAR didapati penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Jakarta Utara memiliki rata-rata sebesar -11 cm/tahun, sementara penurunan muka tanah terbesar -15,6 cm/tahun dan terkecil pada nilai -4,6 cm/tahun. Kemudian, hasil dari metode IBI perubahan lahan terbangun dengan total seluas 228 hektar/tahun, sementara perubahan kelurahan terluas di Marunda seluas 57 hektar/tahun dan terkecil di Kelurahan Pekoja seluas 0,01 hektar/tahun, korelasi keduanya menunjukkan berkorelasi kuat 32%, 44% berkorelasi sedang dan 24 % diantara keduanya berkorelasi lemah

9. Hasil Penelitian Wiwit P., Yudo P. dan Bambang D.Y (2018)

Penelitian Wiwit P., Yudo P. dan Bambang D.Y (2018) berjudul “Analisis Dampak perubahan muka Tanah Akibat Bencana Tanah Longsor Terhadap Kawasan Permukiman Di Kabupaten Banjarnegara Menggunakan Metode

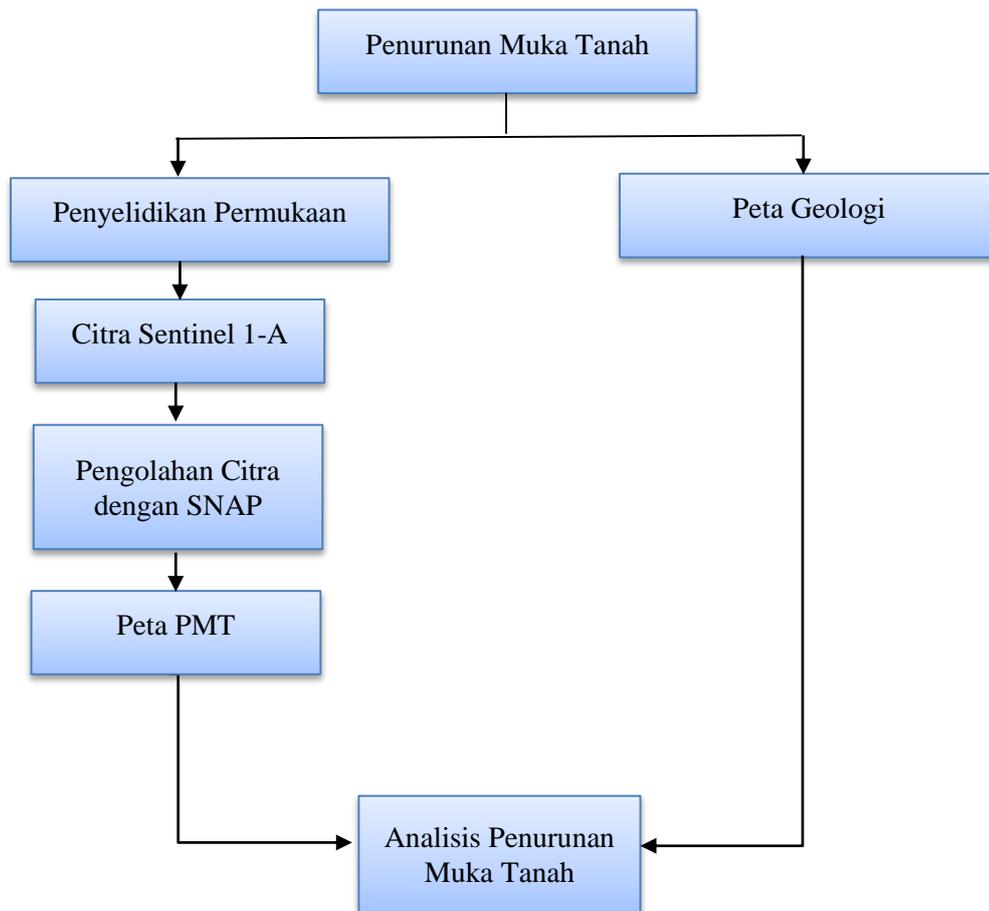
Dinsar” berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil pengolahan DInSAR pada tahun 2016 yaitu $-0,11973$ sampai $0,08836 \pm 0,01009$ meter/tahun dimana 5 kecamatan mengalami kenaikan muka tanah dan 15 kecamatan lainnya 263 mengalami penurunan muka tanah. Hasil pengolahan DInSAR tahun 2017 yaitu $-0,35358$ sampai $0,32900 \pm 0,03065$ meter/tahun, dimana terdapat 1 kecamatan yang mengalami kenaikan muka tanah dan 19 kecamatan mengalami penurunan muka tanah. Hasil pengolahan overlay DInSAR tahun 2016 dan 2017 adalah $-0,35156$ sampai $0,33796 \pm 0,03248$ meter/tahun, dimana terdapat 1 kecamatan yang mengalami kenaikan muka tanah dan 19 kecamatan mengalami penurunan muka tanah.

10. Hasil Penelitian M.Irasyad, Joko P., Awalina L.C.R, dan M.Nur C. (2016)
 Penelitian M.Irasyad, Joko P., Awalina L.C.R, dan M.Nur C. (2016) berjudul “Analisis Pengaruh Deformasi Muka Tanah terhadap Pembangunan di Daerah Pesisir dengan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Studi Kasus: Pesisir Bangkalan, Madura)” berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Hasil pengolahan DInSAR didapatkan besar deformasi terhadap Line of Sight(LOS) dengan nilai 0.1 cm sampai dengan 0.9 cm. Berdasarkan hasil unwrap menunjukkan bahwa di daerah pesisir bangkalan bagian selatan terjadi uplift dengan besaran rata-rata 4.468 mm per tahun. Akuisisi data SAR, 19 Februari 2009, 7 Januari 2010 dan 10 Januari 2011 terjadi uplift di daerah pesisir bangkalan bagian selatan.

2.6 Kerangka Berpikir

Permukaan bumi merupakan benda yang dinamis, yang mana gaya – gaya yang terjadi disekitar permukaan bumi akan mempengaruhi bentuk bumi. Salah satu fenomena yang terjadi karena kedinamisan permukaan bumi ini adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang telah banyak terjadi di berbagai kota besar, salah satunya Kota Semarang. Ada banyak faktor yang menyebabkan fenomena penurunan muka tanah di Kota Semarang. Salah satunya adalah kondisi geologi, pengambilan air tanah yang berlebihan juga dapat membuat tanah menjadi lebih mudah ambles yang menyebabkan hilangnya *buoyancy* tanah akibat hilangnya air dalam pori sehingga tekanan permukaan menjadi lebih efektif.

Pemantauan penurunan muka tanah disuatu wilayah dapat dikaji dengan beberapa metode geodesi. Salah satu metode geodesi yang di pakai dalam penelitian ini adalah teknologi radar. Teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka tanah adalah DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah metode yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa decade terakhir untuk pengamatan penurunan muka tanah dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter. Selain itu, pengamatan dengan metode *DInSAR* ini dapat dilakukan dengan biaya rendah menggunakan citra SAR Sentinel-1 yang bersifat *open source* dan akan diolah dengan perangkat lunak SNAP dan QGIS. Metode inilah yang akan diterapkan dalam penelitian untuk dapat mencapai tujuan penelitian dalam menyelesaikan permasalahan yang telah dirumuskan. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendeteksi dan memetakan terjadi atau tidaknya penurunan permukaan tanah di daerah Semarang, khususnya wilayah Kaligawe dan sekitarnya. Berikut adalah kerangka berpikir secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Kerangka Berpikir

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan April – Agustus. Pengolahan data dilakukan di Badan Pengajian dan Pemanfaatan Teknologi (BPPT) Jl. M.H. Thamrin No.8, RT.2/RW.10, Kp. Bali, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Peralatan keras yang dibutuhkan pada penelitian adalah:

- a. Laptop Hp dengan Prosesor Intel inside core i3, Ram 4GB, *OS Windows 10*
- b. Computer LENOVO 30B8A07TID dengan Processor Intel® Xeon ® CPU E5-2630 @2.20 GHz (20CPUs), RAM 32768 MB, Os Windows 10 Pro for workstation 64-bit.
- c. Perangkat Lunak yang dibutuhkan pada penelitian adalah: Microsoft Excel 2010, *SNAP* , *Qgis 3.20*

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

- b. Citra Sentinel 1A IW level 1 wilayah Semarang tahun 20182020.
- c. DEM SRTM 1sec dengan resolusi spasial 30 m.

3.3 Jenis Data

Dalam penelitian ini data citra satelit metode *DinSAR* pada tahun 2018 – 2020 yang diunduh di Alaska Satellite Facility (ASF) atau laman <https://search.asf.alaska.edu/#/>.

Tabel 3. 1 Citra SAR yang Digunakan Pada Tahun 2018 - 2020

Tanggal Akuisisi	Level	Mode	Polarisasi	Sudut Pandang
01 Januari 2018	1	1W	VV	<i>Ascending</i>
12 Desember 2018	1	1W	VV	<i>Ascending</i>
01 Januari 2019	1	1W	VV	<i>Ascending</i>
29 Desember 2019	1	1W	VV	<i>Ascending</i>
28 Januari 2020	1	1W	VV	<i>Ascending</i>
29 Desember 2020	1	1W	VV	<i>Ascending</i>

3.4 Proses Pengolahan Data

Berikut adalah penjelasan tahapan pengolahan data SAR yang dilakukan dengan metode *DinSAR*:

3.4.1 Pengumpulan Data

Data citra yang digunakan pada studi ini ialah citra Sentinel 1A dengan format *Interferometric Wide Swath (IW)* informasi tingkat 1 SLC yang diakuisisi pada bertepatan pada tahun 2018 – 2020. SLC adalah data yang sudah terfokuskan, ditemukan geo referensi memakai data orbit serta ketinggian dari satelit, serta ada pada *slant range geometry*. Format IW ialah akuisisi utama di atas tanah. Mode ini mengakuisisi 3 sub petak dengan memakai *Terrain Observation with Progressive Scan SAR (TOPSAR)*. Mode *TOPSAR* berperan untuk mengambil alih mode scan SAR konvensional dengan cakupan serta resolusi yang sama namun rasio *noise* jadi kecil. Teknologi ini mempunyai kelebihan yang bisa menciptakan kualitas gambar yang homogen dengan kendala yang bisa diminimalisir *Signal to Noise Ratio (SNR)* nyaris seragam. *SNR* adalah ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas. Ukuran panas terjaln karena proses *amplification* (penguatan) sinyal radar yang diterima oleh antena (Emiyati,dkk.2016).

3.4.2 *Pre - Processing Data*

Data yang digunakan pada studi ini berbentuk data radar Sentinel 1A pada tahun 2018 – 2020 yang diunduh di <https://asf.alaska.edu/>. Kedua data citra yang hendak diunduh tadinya diasosiasikan terhadap waktu *baseline* temporal supaya memperoleh nilai koherensi yang besar. Tahapan tersebut dicoba pada laman penyedia informasi alaska.edu. Data yang digunakan untuk menginterpretasikan penurunan permukaan tanah adalah data citra Sentinel 1A dengan format IW dengan data tingkat 1 SLC sebanyak 6 pasang citra. Pendamping citra Sentinel 1A ialah *master* dan *slave*.

3.4.3 *Pengolahan DinSAR*

Berikut adalah penjelasan tahapan-tahapan pengolahan data SAR yang dilakukan dengan metode DInSAR :

1. Pengolahan penurunan permukaan tanah secara spasial dan temporal dilakukan menggunakan metode DInSAR pada perangkat lunak SNAP. SNAP merupakan perangkat lunak yang tersedia dan bekerja dalam European Space Agency (ESA), suatu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dikembangkan oleh Badan Antariksa Eropa. Data-data yang disediakan berupa data citra radar satellite Sentinel-1A. Proses pengolahan data terdiri dari akuisisi data citra sampai penghapusan pengaruh topografi dan atmosfer yang selanjutnya akan di konversi menjadi bentuk phase ketinggian yang diproses menggunakan tools SNAPHU.

2. Data yang diperoleh berupa dua citra radar yang dipasangkan dan mempunyai sifat data master dan slave. Citra master merupakan citra SAR yang diambil lebih awal dibandingkan dengan citra slave. Align interferogram adalah

proses penggabungan untuk mendapatkan informasi phase dan amplitudo dari dua citra jenis SLC yang bertumpukan dan berkorelasi jelas.

3. Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan pasangan citra yang sesuai adalah memastikan estimasi jarak utama (baseline perpendicular) antara master dan slave yang tidak begitu tinggi. Data baseline perpendicular yang digunakan pada pasangan citra dapat mempengaruhi nilai koherensi. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Semakin panjang baseline perpendicular, maka nilai koherensi akan semakin buruk. Data baseline perpendicular terdapat pada tampilan menu InSAR stack overview pada perangkat lunak SNAP.

4. Tahapan selanjutnya adalah koregistrasi citra yang bertujuan untuk menggabungkan antar piksel dari data citra master dan slave. Setelah tahap ini dilanjutkan dengan proses koreksi orbit dengan sentinel dan tahapan backgeocoding dengan DEM SRTM dengan metode resampling bilinear interpolation dengan resolusi 30 m yang diunduh secara otomatis. Metode resampling bilinear interpolation bertujuan untuk meningkatkan atau mengurangi jumlah piksel pada gambar digital sehingga menghasilkan gambar yang baik.

5. Pembentukan phase interferogram dan koherensi dilakukan agar memperoleh kecocokan antar citra. Menurut Hartl (1996), semakin kecil nilai koherensi maka semakin rendah tingkat kecocokan antar citra tersebut. Apabila nilai koherensi lebih besar dari 0.2 maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya, sedangkan jika lebih kecil sebaiknya mengganti pasangan citra. Proses berikutnya yaitu TOPSAR Deburst, merupakan penggabungan ketiga burst yang terpisah dengan garis hitam di setiap burst. Pemotongan citra pada tools subset perlu dilakukan agar pengolahan yang dilakukan terfokus ke daerah penelitian yang

diinginkan, yaitu Kaligawe, Semarang. Kelebihan melakukan pemotongan citra agar mempercepat proses pengolahan citra karena scene pada citra berukuran lebih kecil dari sebelumnya. Kemudian dilakukan penghilangan phase topografi yang bertujuan agar simulasi interferogram sesuai dengan referensi DEM dan mensubstraksikan phase topografi dari interferogram yang didapatkan, sehingga dapat mengubah bentuk bidang proyeksi menjadi bidang datar. Referensi DEM yang diaplikasikan pada tahapan ini menggunakan DEM SRTM yang tersedia otomatis dalam perangkat lunak SNAP.

6. Tahapan interferogram, goldstein filtering diperlukan untuk mengurangi atau menghilangkan phase gangguan yang ada pada citra dengan menggunakan setelan tetap (default) dari fitur SNAP. Setelah melakukan filtering, langkah berikutnya multilooking yang berfungsi untuk mengurangi phase gangguan yang terdapat pada citra SAR dan diubah menjadi bentuk phase piksel. Setelah itu, mengeluarkan hasil multilooking dengan tools export unwrap agar dapat dimasukkan ke dalam tahapan selanjutnya. Proses selanjutnya phase unwrapping, merupakan suatu proses konversi phase ambiguitas menjadi phase absolut. Phase yang dihasilkan dari tahapan multilooking masih berupa phase ambiguitas sehingga perlu diubah menjadi phase absolut. Menggunakan persamaan berikut (Hanssen,2001):

$$d_{LOS} = \frac{\lambda \times d_{\phi}}{4\pi \times \theta}$$

Dimana :

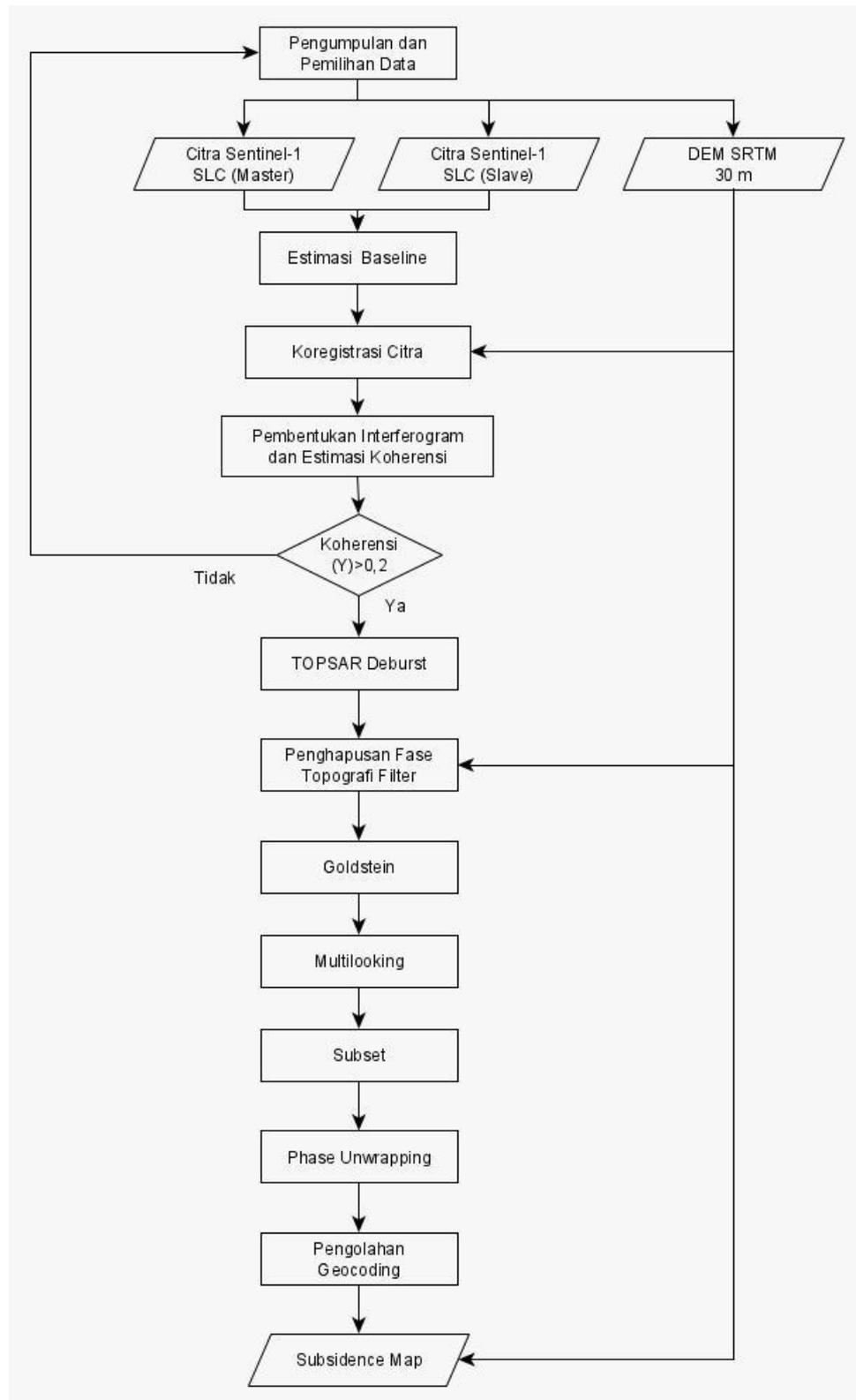
D_{ϕ} = perbedaan phase di diferensial (π rad)

Θ = sudut datang di setiap pixel (π)

Λ = panjang gelombang di pita C (5,6 cm)

Pada tahapan ini menggunakan tools tambahan berupa SNAPHU yang dapat diunduh pada halaman penyedia data <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/SNAPhu/>. Proses SNAPHU unwrapping dilakukan pada menu command prompt di operation sistem Windows. Pada proses ini bentuk data yang di konversi berupa disc data menjadi bentuk high dynamic range *.hdr. Setelah proses ini dilakukan kembali ke perangkat lunak SNAP untuk melakukan tahapan import unwrap. Tahapan import unwrap merupakan tahapan konversi tingkat dua dari bentuk high dynamic range *.hdr menjadi temporary instruction file format *.tif. Konversi data unwrap dari bentuk phase ke nilai elevasi dilakukan untuk mengetahui perbedaan tinggi dari proses DInSAR atau mengkonversi from slant to height dengan menggunakan tools phase to displacement di perangkat lunak SNAP. Diagram alir proses pengolahan data pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.1

3.4.4 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Processing Data

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini akan dibahas tentang hasil dan proses yang sudah dilakukan beserta dengan analisa terhadap hasil tersebut

4.1 Pre-Processing Data

Proses awal yang dilakukan terhadap data citra satelit Sentinel-1 adalah untuk mendownload data pada website asf pada tahun 2018 – 2020. Proses ini dilakukan terhadap semua citra satelit Sentinel-1 yang selanjutnya akan diproses pada aplikasi SNAP berikut adalah tabel perekaman pada citra :

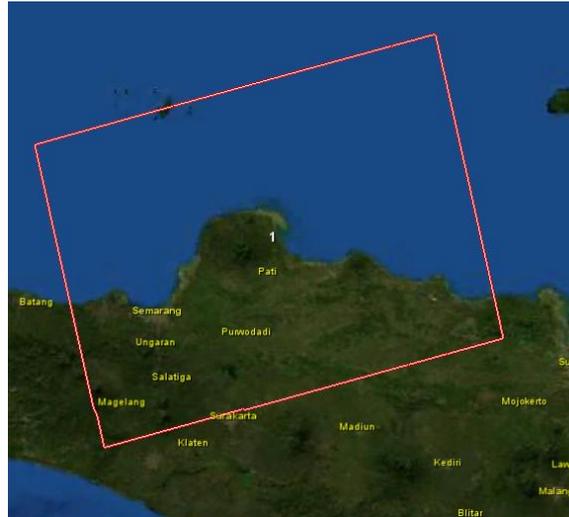
Tabel 4. 1 Data Orbit Citra7

ID scene	Tanggal Akuisisi	Level	Mode Akuisisi	Polarisasi	Sudut Pandang	Jenis Data
S1A_IW_SLC__1SDV_20180102T105817_20180102T105847_019974_022062_29C8	02 Januari 2018	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master
S1B_IW_SLC__1SSV_20181210T105743_20181210T105813_013978_019F08_316C	10 Desember 2018	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave
S1B_IW_SLC__1SSV_20190103T105742_20190103T105812_01432	03 Januari 2019	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master

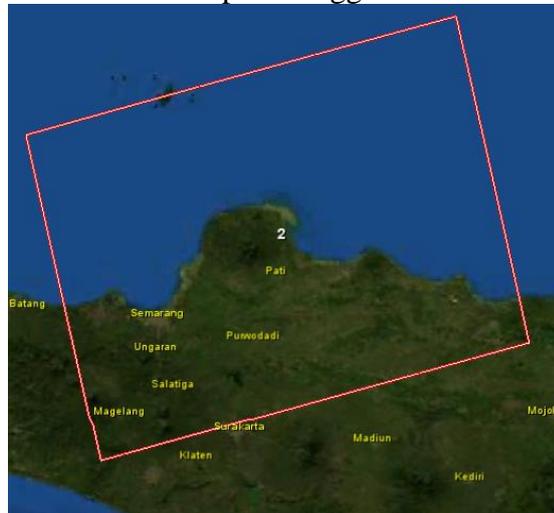
8_01AA9 7_7FD5						
S1B_IW_ SLC__1S SV_20191 229T1057 49_20191 229T1058 19_01957 8_02500B _33C1	29 Desembe r 2019	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_ SLC__1S DV_2020 0128T105 829_2020 0128T105 859_0309 99_038F8 5_C937	28 Januari 2020	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_ SLC__1S DV_2020 1229T105 837_2020 1229T105 907_0358 99_04345 F_A349	29 Desembe r 2020	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave

4.1.1 Proses Pengumpulan Data dan Pemilihan Data

Selanjutnya adalah dilakukan proses pengumpulan data dan pemilihan data yang telah didapatkan dari proses pre-processing data. Pada tahap ini didapatkan 2 citra yaitu master dan slave. Untuk dicocokkan datanya agar bisa dipergunakan untuk tahap selanjutnya. Berikut adalah gambar 4.1 dan 4.2 masing - masing citra pada tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020



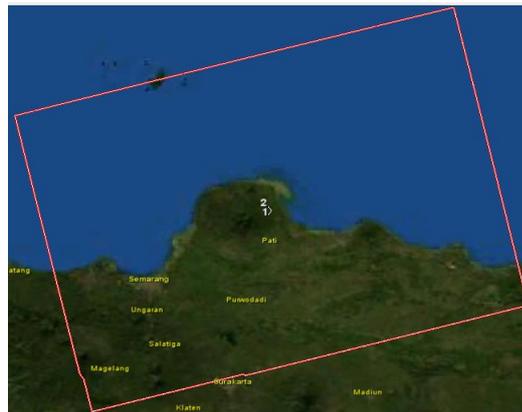
Gambar 4.1 Citra pada tanggal 28 Januari 2020



Gambar 4. 2 Citra pada tanggal 29 Desember 2020

Jika kedua citra tersebut tidak cocok, maka perlu mencari citra yang cocok.

Seperti gambar 4.3 dibawah ini, ini adalah citra yang cocok saling tumpang tindih satu sama lain.



Gambar 4. 3 Estimasi Jarak Utama dan Pasangan citra pada tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

4.1.2 Koregrasi Citra

Selanjutnya Koregrasi Citra yaitu menyatukan citra antara master dan slave yang sudah cocok sebagai pasangannya. Penelitian ini dilakukan di wilayah Kaligawe dan sekitarnya yang berada di IW1 dan dipilih 5 burst (Garis yang melintang secara horizontal seperti terlihat pada Gambar 4.4 dan 4.5) pada masing – masing pasangan citra. Pemilihan sub swath dan burst dilakukan sesuai dengan daerah penelitian. Dalam tahap ini dilakukan proses koreksi orbit sentinel dengan DEM SRTM 3 sec resolusi 30 meter yang diunduh secara otomatis dan menggunakan metode resampling bilinear interpolation (metode pencitraan untuk meningkatkan atau mengurangi jumlah pixel dalam gambar digital sehingga menghasilkan gambar yang lebih bagus).



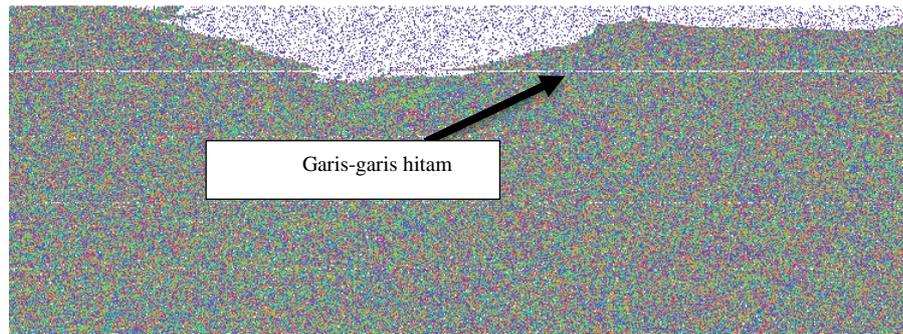
Gambar 4. 4 Koregrasi Citra pada tanggal 28 Januari 2020



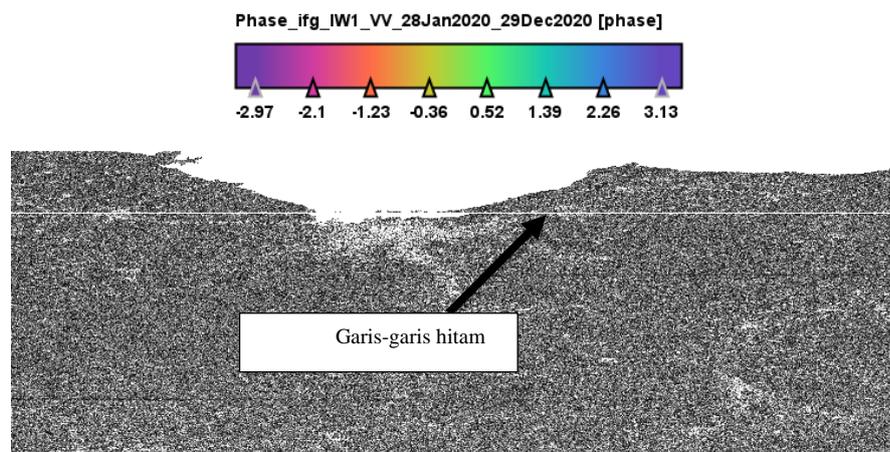
Gambar 4. 5 Koregrasi Citra Pada Tanggal 29 Januari 2020

4.1.3 Pembentukan Interferogram dan Estimasi Koherensi

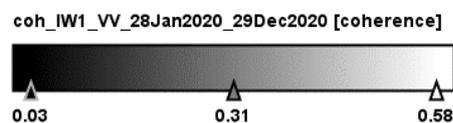
Pada tahap ini dilakukan kecocokan antara phase interferogram dan koherensi antar citra, dan masih terlihat citra terpisah oleh garis-garis burst. Garis-garis burst ditunjukkan dengan adanya garis-garis hitam pada tampilan citra sehingga tampilan citra tidak tampak utuh. Karena citra masih terlihat tidak utuh yang terlihat pada gambar 4.6 dan 4.7 maka perlu dilakukan tahapan *deburst* yang dilakukan setelah melalui tahapan estimasi jarak utama atau pencocokan pasangan antar citra.



Gambar 4. 6 Phase pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020



Gambar 4. 7 Koherensi Pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020



Gambar 4.6 merupakan hasil *interferogram* yang telah dikurangkan dengan efek topografi yang berupa citra *phase* dan *amplitude* dalam sistem koordinat radar. Pengurangan efek topografi pada citra *interferogram* dilakukan dengan menggunakan data *DEM SRTM* 30 meter. Gambar 4.7 merupakan hasil dari koherensi citra yang menghasilkan koherensi sebesar 0.58 (dari tahap koregrasi citra yang diolah sehingga didapatkan nilai koherensi dan langsung terbaca pada aplikasi *SNAP*). Menurut Chytia dkk (2018) apabila koherensi sudah lebih besar dari 0.2, maka bisa dilanjutkan ke tahap *processing* data. Pada Gambar 4.7 menunjukkan warna putih merupakan objek kasar, sedangkan wilayah yang berwarna hitam menunjukkan objek dengan permukaan kasar rata atau halus. Objek

dengan permukaan kasar akan memantulkan hamburan yang kuat sehingga menghasilkan warna terang pada citra radar. Sedangkan hamburan yang lemah menghasilkan objek semakin gelap pada wilayah citra radar. Sebagaimana pernyataan Febrianti (2017) objek tersebut menunjukkan permukaan rata atau halus.

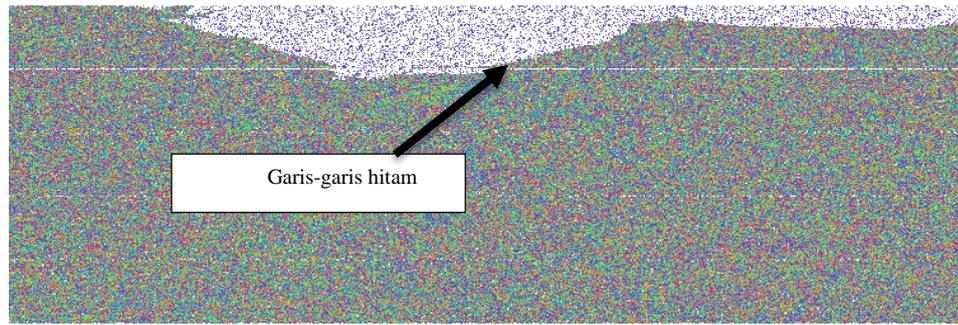
Data *preprocess* belum menunjukkan hasil tampilan citra yang utuh, dimana masih ada beberapa *noise* yang harus dihilangkan. Maka perlu dilakukan tahapan *processing* data yaitu dengan melakukan beberapa tahapan seperti tahap TOPSAR *Deburst*, tahap penghapusan topografi fase *filtering*, tahap *Goldstein*, tahap *multilooking*, tahap *unwrapping* dan tahap *geocoding*.

4.2 Processing data

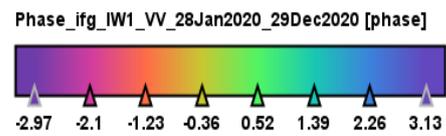
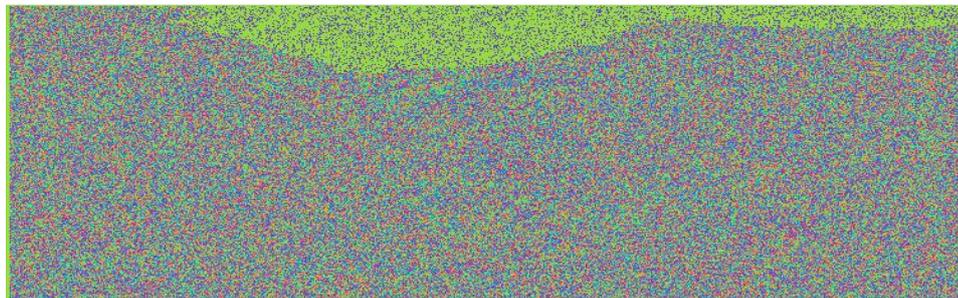
Selanjutnya yaitu tahap *processing* data setelah melakukan tahap *pre-processing* data sebagai berikut.

4.2.1 Tahap TOPSAR *Deburst*

Pada tahap sebelumnya yaitu pembentukan interferogram dan estimasi koherensi masih terlihat citra tidak utuh dan masih terpisah oleh garis-garis hitam. Hal ini dinamakan *burst* atau garis-garis hitam pada tampilan citra, maka perlu dilakukan tahap TOPSAR *Deburst* yaitu berfungsi menghilangkan garis tiap *burst* (garis-garis hitam) garis horizontal pada phase dan koherensi seperti pada gambar 4.8 dan 4.9. Untuk menjadi satu citra yang utuh terlihat seperti gambar 4.8 dan 4.9. Supaya pengolahan data dilakukan lebih terfokus pada daerah penelitian yaitu Kaligawe dan sekitarnya. Berikut adalah hasil tahapan TOPSAR *Deburst* ditunjukkan pada gambar 4.8 dan 4.9.

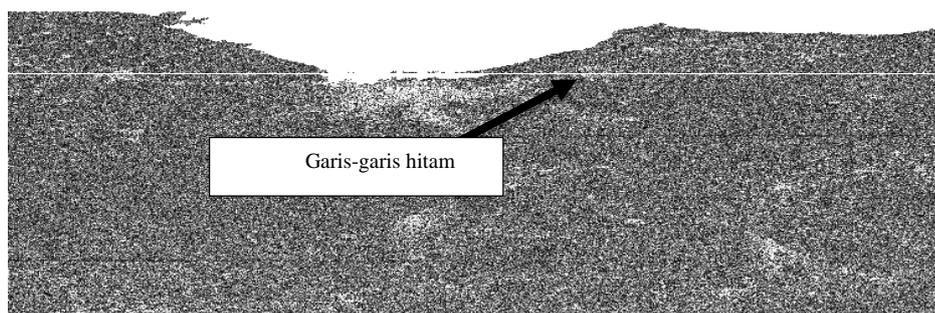


(a)

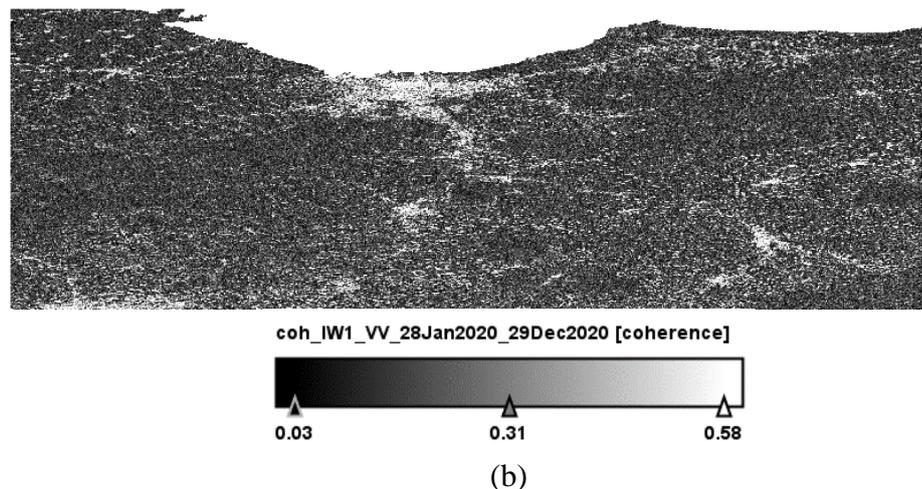


(b)

Gambar 4. 8 (a) Gambar Sebelum tahapan pembentukan interferogram dan koherensi pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020 (b) Hasil TOPSAR Deburst Phase pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020



(a)



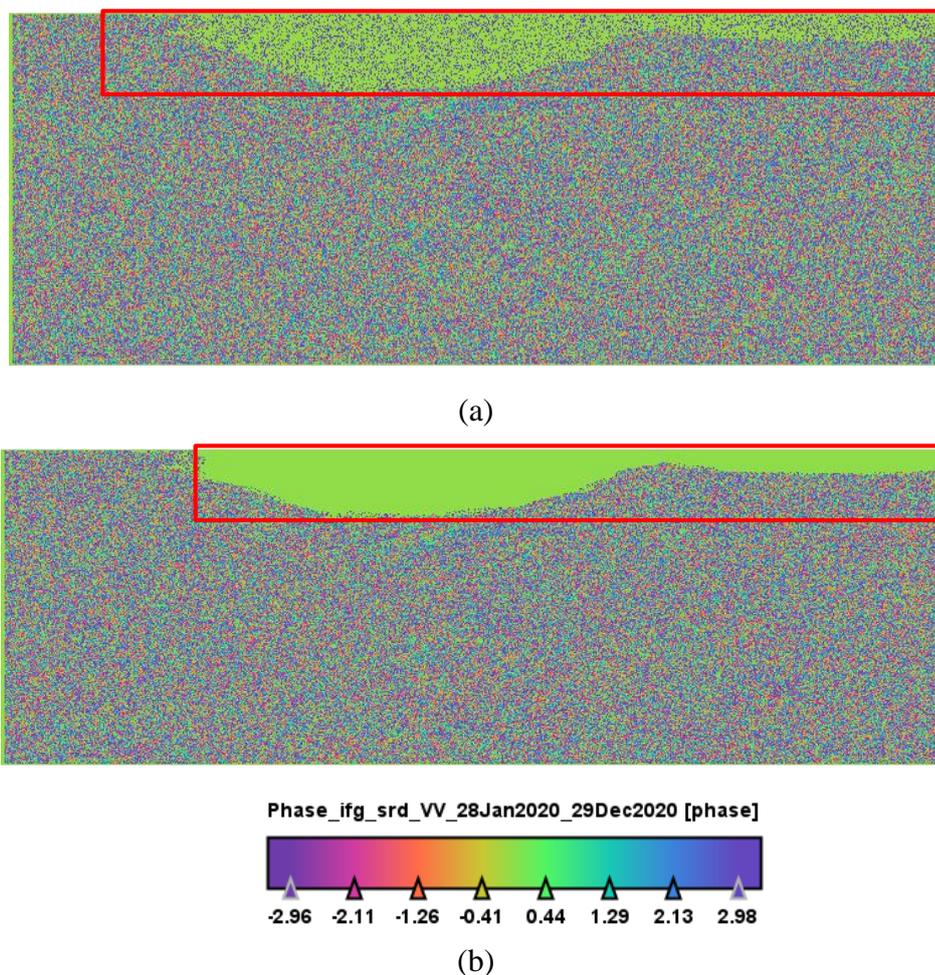
Gambar 4. 9 (a) Gambar Sebelum tahapan pembentukan interferogram dan koherensi pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020 (b) Hasil TOPSAR Deburst Koherensi pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

Dilihat dari gambar 4.8 (a) dan 4.9 (a) terlihat masih ada garis-garis hitam pada tampilan citra phase dan koherensi. Setelah dilakukan tahapan *deburst*, maka dapat dilihat pada gambar 4.8 (b) dan 4.9 (b) menunjukkan tampilan citra sudah tidak ada garis-garis hitam pada tampilan citra phase dan tampilan citra koherensi. Setelah dilakukan tahapan TOPSAR *Deburst* maka akan dilakukan tahapan penghapusan topografi fase *filtering* sebagai berikut.

4.2.2 Tahapan Penghapusan Topografi Fase *Removal*

Tahap penghapusan topografi fase *removal* yaitu untuk melakukan penghapusan topografi dan menghasilkan simulasi interferogram berdasarkan referensi *DEM SRTM 30 sec*. Pada tahap sebelumnya yaitu *Deburst* masih mengandung unsur deformasi, topografi, noise, atmosfer serta dipengaruhi oleh pencitraan ke samping (*side looking*) atau garis horizontal. Sehingga pada tahap ini untuk melakukan penghapusan topografi pada hasil interferogram dari dua pasang citra dan menghasilkan simulasi interferogram berdasarkan referensi DEM SRTM

30 *sec* yang terunduh otomatis di aplikasi SNAP. Sehingga dari tampilan citra phase pada tahapan TOPSAR *Deburst* yang masih tampak kasar terlihat pada gambar 4.10 (a) menjadi tampilan yang lebih halus seperti ditunjukkan pada gambar 4.10 (b).

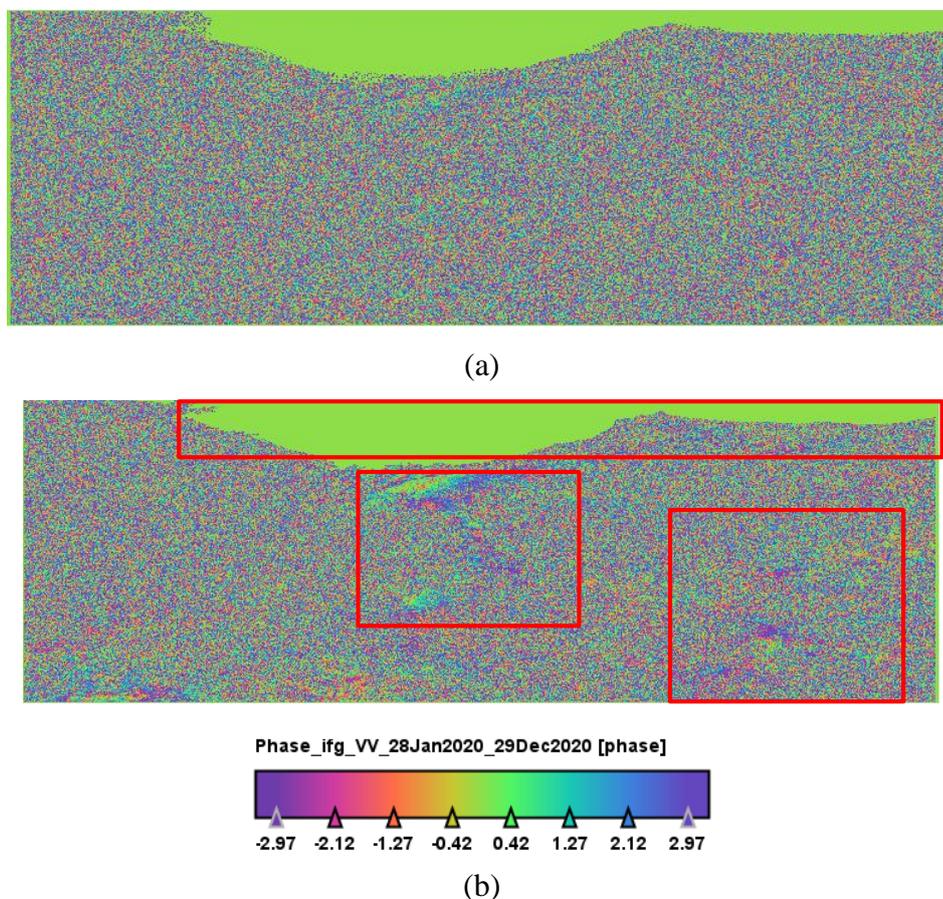


Gambar 4. 10 (a) Gambar Sebelum tahapan TOPSAR *Deburst* pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020 (b) Hasil Tahapan Penghapusan Topografi Phase pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

4.2.3 Tahap Goldstein

Tahap *Goldstein* yaitu untuk meningkatkan ketajaman pola pada citra sebelumnya yaitu tahap topografi removal semakin terlihat dan untuk menghilangkan fase noise dan atmosfer guna mendapatkan hasil yang baik sebelum melakukan tahap unwrapping. Menurut Goldstein dan Werner (1998) menunjukkan

proses filtering secara signifikan dapat meningkatkan visibilitas *fringes* lebih mudah untuk diinterpretasikan secara visual. Oleh karena itu pada proses ini dilakukan filtering dengan menaikkan nilai *Signal Noise to Ratio (SNR)*. *SNR* merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) saat penjalaran sinyal balik melalui medium udara atau atmosfer.



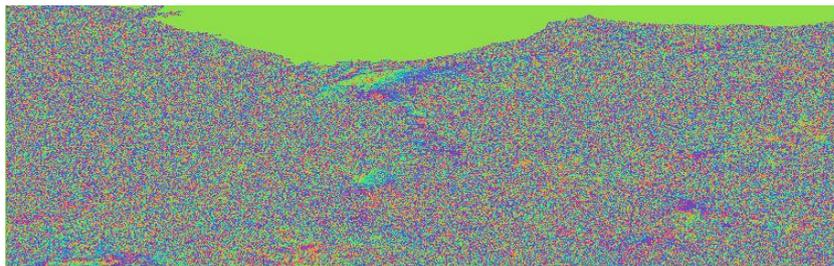
Gambar 4. 11 (a) Gambar Sebelum tahapan Penghapusan topografi fase removal pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020 (b) Hasil Tahapan Goldstein Phase pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

Dari gambar 4.11 menunjukkan adanya perbedaan pada tahapan penghapusan topografi fase *removal* masih terlihat belum ada polanya setelah dilakukan tahapan *Goldstein* ditunjukkan dengan adanya pola-pola baru yang terlihat pada tampilan

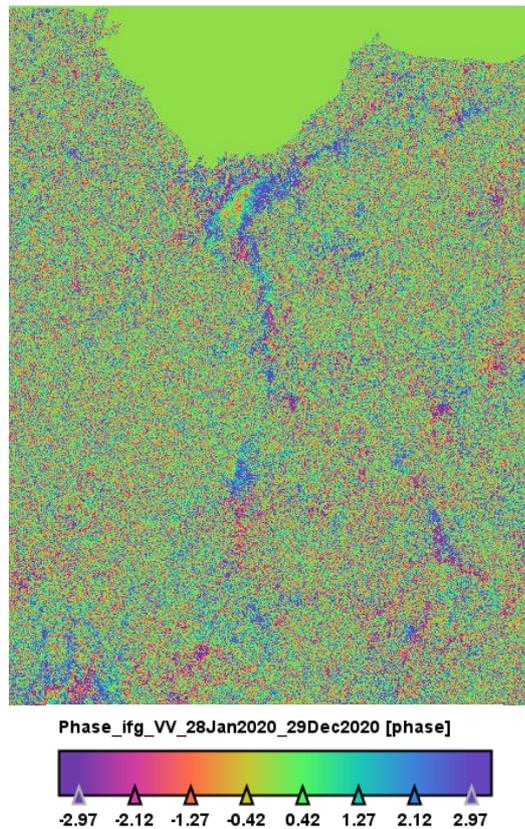
phase pasangan citra. Dimana pada proses penghapusan topografi fase *removal* belum terlihat pola-pola tersebut.

4.2.4 Tahap Multilooking

Karena pada tahapan *Goldstein* tampilan citra masih pada tampilan *sidelooking*. Agar dapat terlihat dari mana saja maka perlu dilakukan proses *multilooking*. Pada tahap ini berfungsi untuk membuat tampilan citra dari horizontal menjadi vertikal pada tampilan citra dan dapat terlihat dari segi manapun. Akan tetapi pada proses ini tidak merubah nilai phasanya hanya merubah tampilan menjadi vertikal. Tahapan *multilooking* dimana tampilan citra sebelumnya yang horizontal sudah menjadi tampilan secara vertikal pada gambar 4.12.



(a)

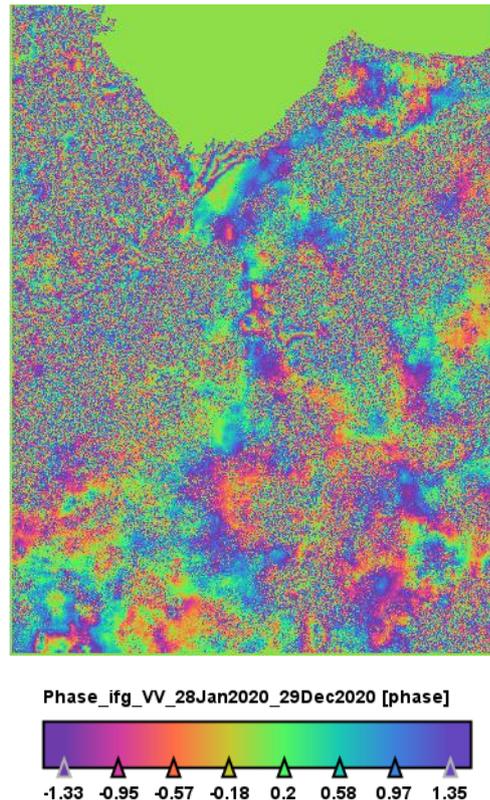


(b)

Gambar 4. 12(a) Hasil Tahapan Goldstein Phase pasangan citra (Horizontal), (b) Hasil Tahapan Multilooking Phase pasangan citra (Vertikal) tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

4.2.5 Tahap Unwrapping

Pada tahap ini proses untuk mendapatkan fasa *absolut*. Fasa *absolut* adalah fasa yang sesungguhnya dari tampilan citra dimana proses sebelumnya masih belum menunjukkan tampilan yang sebenarnya. Dimana pada proses sebelumnya masih dengan tampilan yang ambigu. Hal ini interferogram mendapatkan informasi beda fasa yang berhubungan dengan bentuk topografi. Informasi ini terbatas antara $0 - 2\pi$, sehingga menimbulkan masalah ambiguitas dalam menghitung siklus fasa yang diperlukan untuk mendapatkan jarak miring yang benar. Fasa ini disebut fasa relatif. Nilai penurunan muka tanah sudah diketahui dengan tampilan fase *absolut* akan tetapi masih dalam satuan *phase* yang terlihat pada gambar 4.13.



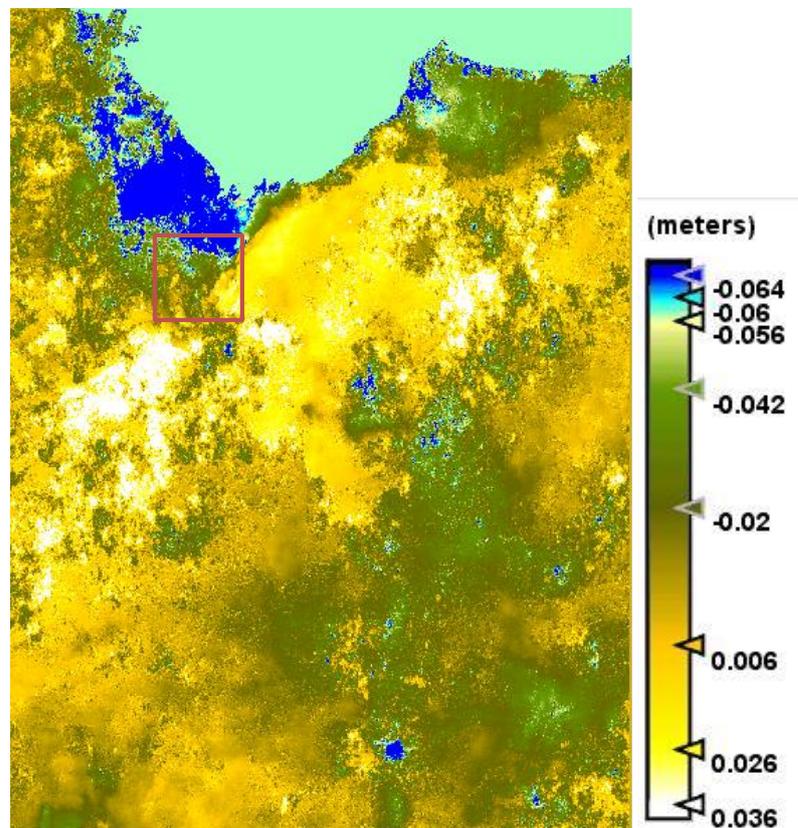
Gambar 4. 13 Hasil Tahapan Unwrapping Phase pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

Berdasarkan pada gambar 4.13 menunjukkan nilai tahap unwrapping seluruh area berada di rentang -1.33 s/d 1.35. pada rentang -1.33 s/d -0.57 menunjukkan nilai yang tinggi berwarna ungu ke pink-pink sampai orange. Pada rentang -0.18 s/d 0.2 menunjukkan nilai sedang berwarna kuning sampai hijau. Dan terakhir pada rentang 0.58 s/d 1.35 menunjukkan nilai tinggi berwarna biru sampai ungu ke biru-biruan.

4.2.6 Konversi Phase ke tinggi

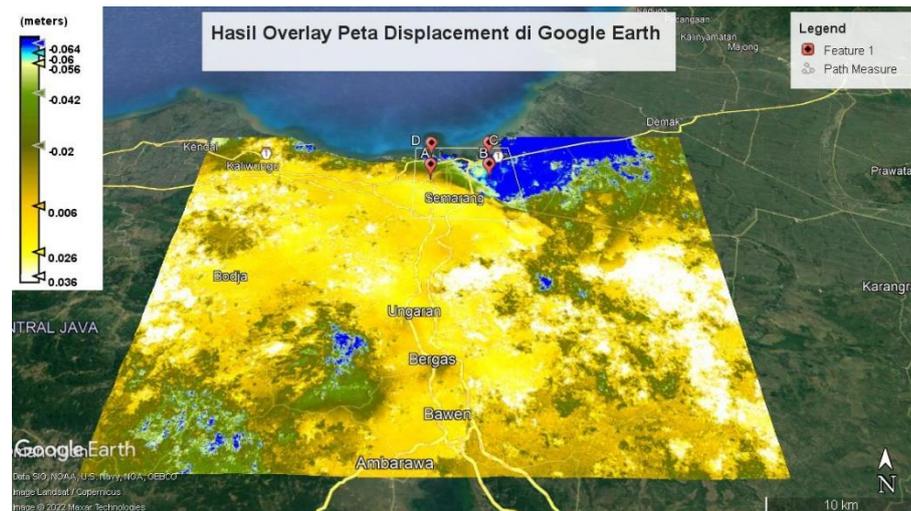
Pada tahap sebelumnya yaitu proses unwrapping masih dalam bentuk satuan phase (π rad) sehingga pada tahap dilakukan konversi data unwrap menjadi fasa ke tinggi untuk mengetahui perbedaan tinggi dari proses *DInSAR* atau mengkonversi

dari phase ke tinggi dengan menggunakan phase to displacement mengubah satuan phase (π rad) yang satuannya sudah menjadi meter.



Gambar 4. 14 Hasil Tahapan Phase to Displacement pasangan citra tanggal 28 Januari 2020 dan 29 Desember 2020

Berdasarkan gambar 4.14 menunjukkan nilai *displacement* seluruh area berada di rentang -0.064 m s/d 0.036 m. Penurunan muka tanah ditunjukkan dengan nilai yang negatif dari rentang -0.064 m s/d -0.02 m yang ditunjukkan dengan warna biru sampai warna hijau gelap. Sedangkan nilai kenaikan muka tanah ditunjukkan dengan nilai positif yaitu dari rentang 0.006 m s/d 0.036 m kuning sampai warna putih .



Gambar 4. 15 Hasil Overlay Peta *Displacmenet* Pada Goolge Earth

Dilihat dari gambar 4.15 menunjukkan bahwa nilai penurunan pada area penelitian, Kota Kaligawe dan Sekitarnya berada pada rentang -0.064 m s/d -0.02 m. Nilai displacement tersebut pada skala peta ditunjukkan dengan warna biru sampai berwarna hijau gelap. Hal ini menunjukkan bahwa Kota Kaligawe dan Sekitarnya mengalami penurunan yang hampir merata.

4.2.7 Tahap Geocoding

Tahap akhir dalam pengolahan *DInSAR* adalah melakukan proses *geocoding* terhadap citra *amplitude*, *phase* setelah *filtering* dan *masking*, koherensi, serta *phase* setelah *unwrap* bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra pada interferogram ke system koordinat global sehingga interferogram yang terbentuk sudah bergeorefrensi untuk selanjutnya dibuat peta penurunan muka tanah yang akan diolah di aplikasi QGIS dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.16 – 4.18 yang menunjukkan penurunan muka tanah warna hijau terang (sangat rendah), hijau muda (rendah), kuning (sedang), orange (tinggi), dan merah (sangat tinggi).

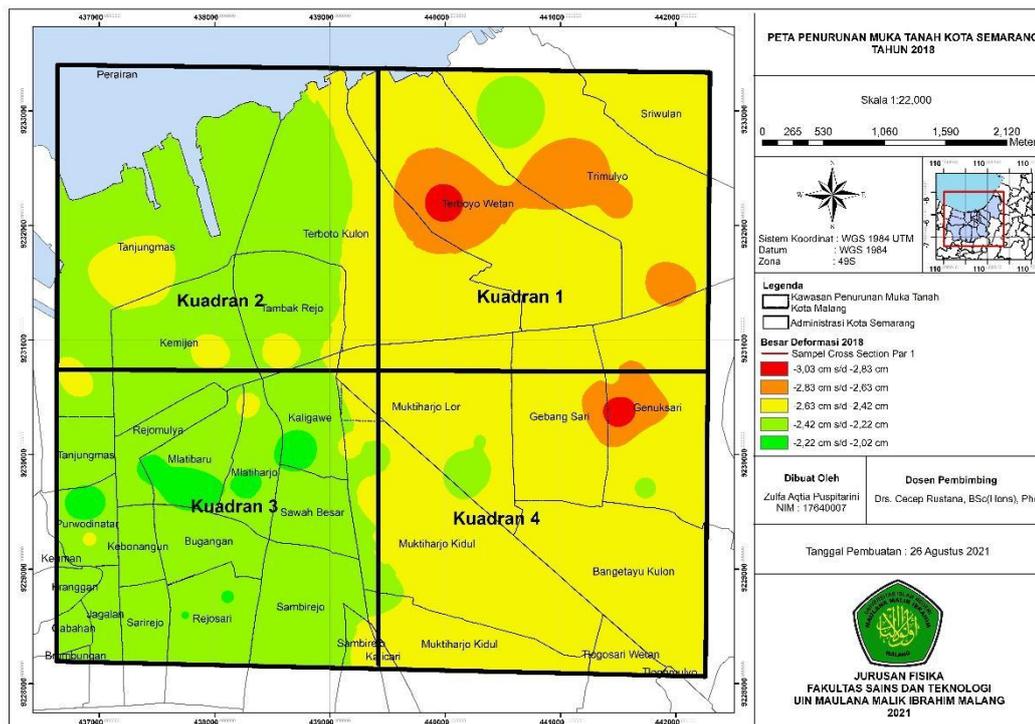
4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2018

Untuk melihat sebaran penurunan muka tanah dan uplift yang terjadi di bagian kuadran I mencakup wilayah Kecamatan Genuk terdiri dari Kelurahan Trimulyo, Kelurahan Sriwulan dan Kelurahan Terboyo. Pada Kuadran II mencakup wilayah Kecamatan Semarang Utara terdiri dari Kelurahan Terboyo Kulon, Kelurahan Tambak Rejo, Kelurahan Kemijen dan Kelurahan Tanjung Mas.

Untuk Kuadran III mencakup wilayah Kecamatan Gayamsari yang terdiri dari Kelurahan Tanjung Mas, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Kranggan, Kelurahan Janggalan, Kelurahan Gabahan, Kelurahan Sarirejo, Kelurahan Kebonangun, Kelurahan Rejomulya, Kelurahan Bugangan, Kelurahan Rejosari, Kelurahan Mlatiharjo, Kelurahan Kaligawe, Kelurahan Sawah Besar, Kelurahan Sambirejo, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Mlatibaru dan Kelurahan Mlatiharjo. Pada Kuadran IV mencakup Kecamatan Pedurungan terdiri dari Kelurahan Muktiharjo Lor, Kelurahan Gerbang Sari, Kelurahan Muktiharjo Kidul, Kelurahan Bangetan Kulon, Kelurahan Pogo Sari Wetan, dan Kelurahan Genuksari.

Setelah mengetahui wilayah pada setiap kuadran, maka dibuat peta sebaran Koordinat Cartesian 1 yang melintang vertical dan horizontal menggunakan software QGIS 3.20.1. Dapat dilihat gambar peta sebaran koordinat Cartesian 1 berikut:



Gambar 4. 16 Peta Sebaran Koordinat Cartesian I

Gambar 4.16 berikut ini merupakan peta sebaran garis Koordinat Cartesian 1 dengan cakupan area penelitian terletak pada koordinat $6^{\circ}58'49.00''$ LS - $110^{\circ}25'0.84''$ BT dan $6^{\circ}56'54.00''$ LS - $110^{\circ}28'8.00''$ BT. Berdasarkan gambar peta sebaran koordinat Cartesian I adapun besar nilai baik kenaikan maupun penurunan muka tanah yang terjadi pada tiap sisi kuadran I, II, II, dan IV pada tahun 2018 (cm/th) yakni sebagai berikut:

a. Kuadran I

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 1 pada kuadran I sebagian mengalami penurunan sedang, yaitu 2,63 cm s/d 2,42 ini terjadi di Kelurahan Trimulyo dan Sriwulan (warna kuning). Sedangkan penurunan permukaan tanah sebesar 2,63 – 2,83 cm terjadi pada wilayah Kelurahan Terboyo Wetan (warna orange).

b. Kuadran II

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 1 pada kuadran II terjadi penurunan sebagian permukaan tanah sedalam 2,42 cm s/d 2,22 cm di daerah Kelurahan Terboyo Kulon (warna hijau), Tambak Rejo . Sedangkan sebagian wilayah Kelurahan Kemijen, Tanjung Mas mengalami penurunan muka tanah dengan kedalaman sedang sebesar 2,63 cm s/d 2,42 cm (warna kuning).

c. Kuadran III

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 1 pada kuadran III mengalami penurunan muka tanah yang rendah dengan nilai 2,42 cm s/d 2,22 cm ini terjadi di daerah Kelurahan Tanjung Mas, Kaliman, Purwodinatar, Kaliman, Kranggan, Janggalan, Gabahan, Sarirejo, Kebonangun, Rejomulya, Bugangan, Rejosari, Mlatiharjo, Kaligawe, Sawah Besar, Sambirejo (warna hijau muda). Adapun sebagian pada titik kelurahan Purwodinatar , Mlatibaru dan Mlatiharjo yang mengalami penurunan muka tanah yang sangat rendah sebesar 2,22 cm s/d 2,02 cm (warna hijau tua) dan pada titik kelurahan sambirejo mengalami penurunan muka tanah sedang sebesar 2,63 cm s/d 2,42 cm (warna kuning).

d. Kuadran IV

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 1 pada kuadran mengalami penurunan muka tanah sedang sebesar 2,63 cm s/d 2,42 cm ini terjadi di daerah Kelurahan Muktiharjo Lor, Gerbang Sari , Muktiharjo Kidul, Bangetan Kulon, Pogo Sari Wetan (warna kuning). Sedangkan Kelurahan

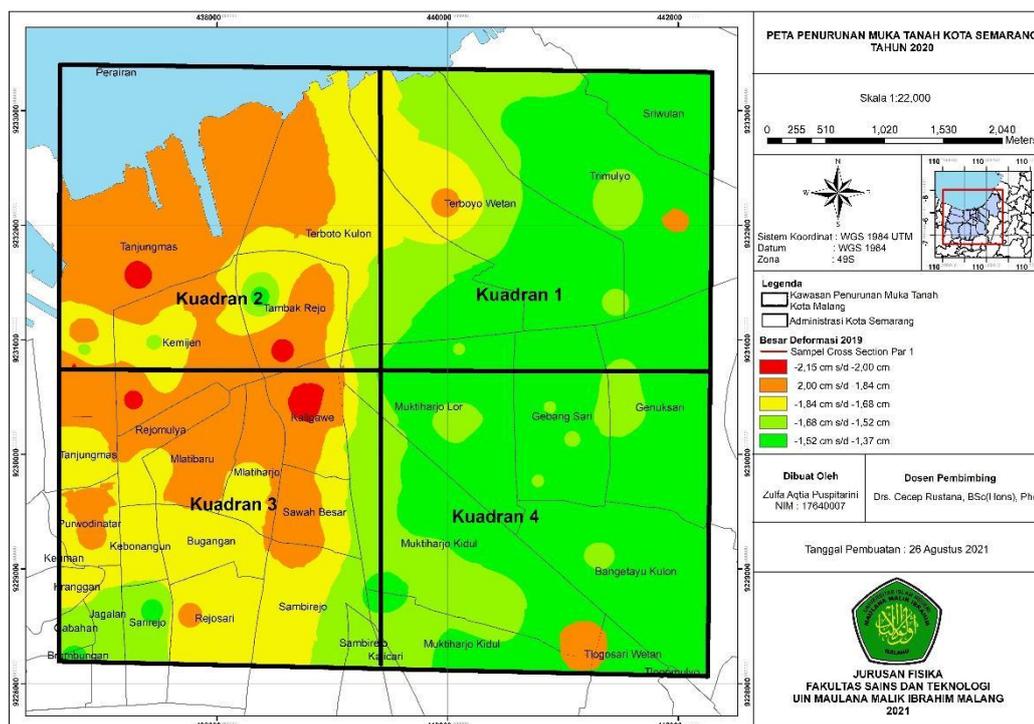
Genuksari mengalami penurunan muka tanah tinggi sebesar 2,83 cm s/d 2,63 cm (warna orange).

4.3.2 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2019

Untuk melihat sebaran penurunan muka tanah dan uplift yang terjadi di bagian kuadran I mencakup wilayah Kecamatan Genuk terdiri dari Kelurahan Trimulyo, Kelurahan Sriwulan dan Kelurahan Terboyo. Pada Kuadran II mencakup wilayah Kecamatan Semarang Utara terdiri dari Kelurahan Terboyo Kulon, Kelurahan Tambak Rejo, Kelurahan Kemijen dan Kelurahan Tanjung Mas.

Untuk Kuadran III mencakup wilayah Kecamatan Gayamsari yang terdiri dari Kelurahan Tanjung Mas, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Kranggan, Kelurahan Janggalan, Kelurahan Gabahan, Kelurahan Sarirejo, Kelurahan Kebonangun, Kelurahan Rejomulya, Kelurahan Bugangan, Kelurahan Rejosari, Kelurahan Mlatiharjo, Kelurahan Kaligawe, Kelurahan Sawah Besar, Kelurahan Sambirejo, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Mlatibaru dan Kelurahan Mlatiharjo. Pada Kuadran IV mencakup Kecamatan Pedurungan terdiri dari Kelurahan Muktiharjo Lor, Kelurahan Gerbang Sari, Kelurahan Muktiharjo Kidul, Kelurahan Bangetan Kulon, Kelurahan Pogo Sari Wetan, dan Kelurahan Genuksari.

Setelah mengetahui wilayah pada setiap kuadran, maka dibuat peta sebaran Koordinat Cartesian II yang melintang vertical dan horizontal menggunakan software QGIS 3.20.1. Dapat dilihat gambar peta sebaran koordinat Cartesian 1 berikut:



Gambar 4. 17 Peta Sebaran Koordinat Cartesian II

Gambar 4.17 berikut ini merupakan peta sebaran garis Koordinat Cartesian 1 dengan cakupan area penelitian terletak pada koordinat $6^{\circ}58'49.00''$ LS - $110^{\circ}25'0.84''$ BT dan $6^{\circ}56'54.00''$ LS - $110^{\circ}28'8.00''$ BT. Berdasarkan gambar peta sebaran koordinat Cartesian II adapun besar nilai baik kenaikan maupun penurunan muka tanah yang terjadi pada tiap sisi kuadran I, II, II, dan IV pada tahun 2019 (cm/th) yakni sebagai berikut:

a. Kuadran I

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian II pada kuadran I sebagian sebagian terjadi penurunan sangat rendah sebesar nilai 1,52 cm s/d 1,37 cm ini terjadi di daerah Kelurahan Sriwulan dan Trimulyo (warna hijau tua). Sedangkan kelurahan Terboyo Wetan mengalami penurunan tanah yang tinggi sebesar 2,00 cm s/d 1,84 cm (warna orange).

b. Kuadran II

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian II pada kuadran II sebagian penurunan muka tanah yang tinggi sebesar 2 cm s/d - 1,84 cm ini terjadi di daerah Kelurahan Tanjung Mas, Tambak Rejo dan Kemijen (warna orange). Sedangkan kelurahan Kemijen, Tambak Rejo, dan Terboyo Kulon mengalami penurunan muka tanah sedang sebesar 1,64 cm s/d 1,66 cm (warna kuning).

c. Kuadran III

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian II pada kuadran III sebagian mengalami penurunan yang sedang sebesar 1,84 cm s/d 1,68 cm ini terjadi di Kelurahan Tanjung Mas, Keliman, Kranggan, Kebonangun, Bugangan, Rejosari, Sambirejo (warna kuning). Sedangkan di Kelurahan Purwodinatar, Rejomulyo, Mlatibaru, Kaligawe, Sawah penurunan muka tanah yang tinggi sebesar 2 cm s/d 1,84 (warna orange). Dan sebagian wilayah kelurahan Gabahan Jagalan, Sarirejo dan Sambirejo mengalami penurunan muka tanah yang rendah sebesar 1,66 cm s/d 1,52 cm (warna hijau muda).

d. Kuadran IV

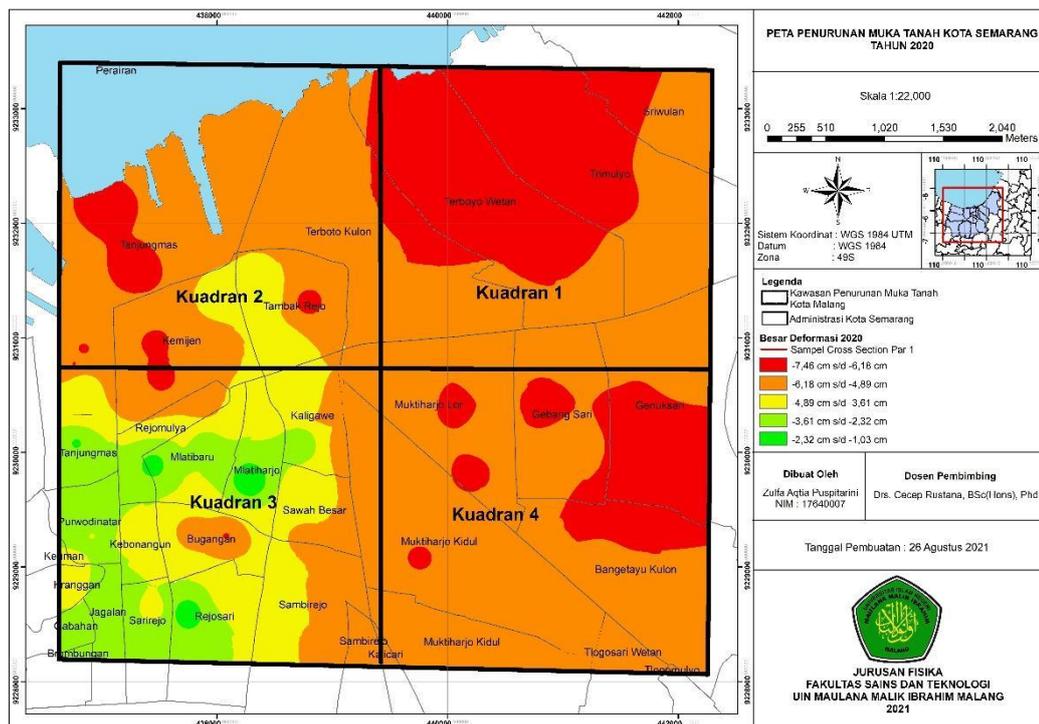
Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian II pada kuadran IV sebagian mengalami penurunan muka tanah yang sangat rendah di Kelurahan Genuksari, Gerbang sari, Muktiharjo Lor, Bangetan Kulon, Tlogosari Wetan, Muktiharjo Kidul sebesar 1,52 cm s/d 1,37 cm (warna hijau tua). Sedangkan sebagian wilayah kelurahan Muktiharjo Kidul mengalami penurunan muka tanah yang rendah sebesar 1,66 cm s/d 1,52 cm (warna hijau muda).

4.3.3 Analisa Penurunan Muka Tanah Tahun 2020

Untuk melihat sebaran penurunan muka tanah dan uplift yang terjadi di bagian kuadran I mencakup wilayah Kecamatan Genuk terdiri dari Kelurahan Trimulyo, Kelurahan Sriwulan dan Kelurahan Terboyo. Pada Kuadran II mencakup wilayah Kecamatan Semarang Utara terdiri dari Kelurahan Terboyo Kulon, Kelurahan Tambak Rejo, Kelurahan Kemijen dan Kelurahan Tanjung Mas.

Untuk Kuadran III mencakup wilayah Kecamatan Gayamsari yang terdiri dari Kelurahan Tanjung Mas, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Kaliman, Kelurahan Kranggan, Kelurahan Janggalan, Kelurahan Gabahan, Kelurahan Sarirejo, Kelurahan Kebonangun, Kelurahan Rejomulya, Kelurahan Bugangan, Kelurahan Rejosari, Kelurahan Mlatiharjo, Kelurahan Kaligawe, Kelurahan Sawah Besar, Kelurahan Sambirejo, Kelurahan Purwodinatar, Kelurahan Mlatibaru dan Kelurahan Mlatiharjo. Pada Kuadran IV mencakup Kecamatan Pedurungan terdiri dari Kelurahan Muktiharjo Lor, Kelurahan Gerbang Sari, Kelurahan Muktiharjo Kidul, Kelurahan Bangetan Kulon, Kelurahan Pogo Sari Wetan, dan Kelurahan Genuksari.

Setelah mengetahui wilayah pada setiap kuadran, maka dibuat peta sebaran Koordinat Cartesian II yang melintang vertical dan horizontal menggunakan software QGIS 3.20.1. Dapat dilihat gambar peta sebaran koordinat Cartesian I berikut:



Gambar 4. 18 Peta Sebaran Koordinat Cartesien III

Gambar 4.18 berikut ini merupakan peta sebaran garis Koordinat Cartesien 1 dengan cakupan area penelitian terletak pada koordinat $6^{\circ}58'49.00''$ LS - $110^{\circ}25'0.84''$ BT dan $6^{\circ}56'54.00''$ LS - $110^{\circ}28'8.00''$ BT. Berdasarkan gambar peta sebaran koordinat Cartesien III adapun besar nilai baik kenaikan maupun penurunan muka tanah yang terjadi pada tiap sisi kuadran I, II, II, dan IV pada tahun 2020 (cm/th) yakni sebagai berikut:

a. Kuadran I

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesien III pada kuadran I sebagian mengalami penurunan muka tanah yang sedang di Kelurahan Sriwulan sebesar 6,18 s/d 4,89 (warna orange) dan sedangkan sebagian di daerah Kelurahan Trimulyo dan Terboyo Wulan mengalami penurunan sangat tinggi sebesar 7,46 s/d 6,18 cm (warna merah).

b. Kuadran II

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian III pada kuadran II sebagian besar mengalami penurunan muka tanah tinggi di Kelurahan Terboyo Kulon, Tanjung Mas, Kemijen sebesar 6,18 cm s/d 4,89 cm (warna orange). Sedangkan wilayah kelurahan tanjung mas dan Kemijen mengalami penurunan muka tanah sangat tinggi sebesar 7,46 cm s/d 6,18 cm (warna merah) dan sebagian wilayah tambak rejo mengalami penurunan muka tanah yang sedang sebesar 4,89 cm s/d 3,61 cm (warna kuning).

c. Kuadran III

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian III pada kuadran III sebagian mengalami penurunan muka tanah yang sedang ini terjadi di Kelurahan Kaligawe, Rejomulyo, Sawah besar, Kebonangun, Sambarejo sebesar 4,89 cm s/d 3,1 (warna kuning) dan sebagian wilayah terjadi di Kelurahan Tanjungmas, Purwodinatar, Jagalan, Gabahan, Sarirejo, Rejosari, Mlatiharjo mengalami penurunan tanah yang rendah sebesar 2,32 m s/d 1,03 cm (warna hijau muda). Dan sebagian wilayah bugangan mengalami penurunan muka tanah tinggi sebesar 6,18 cm s/d 4,89 cm (warna orange).

d. Kuadran IV

Nilai hasil dari Teknik DinSAR menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian III pada kuadran IV sebagian mengalami penurunan muka tanah yang tinggi ini terjadi di daerah Kelurahan Muktiharjo Kidul, Bangetan Kulon, Tlogosari Wetan sebesar 6,18 cm s/d 4,89 cm (warna orange). Sedangkan sebagian wilayah kelurahan Gerbang sari , Muktiharjo kidul dan Genuksari mengalami penurunan muka tanah sangat tinggi sebesar 7,46 cm s/d 6,18 cm (warna merah).

Dalam penelitian ini didapatkan bahwa skala penurunan muka tanah yang tertinggi ada pada tahun 2020 yaitu sebesar 5,21 cm/ per tahun. Untuk Penurunan Muka Tanah. Diketahui bahwa Kuadran I, II, III dan IV signifikan mengalami Penurunan Muka Tanah. Tabel 4.1 Merupakan Perbandingan besar Penurunan Muka Tanah yang terjadi Pada Tahun 2018 – 2020 berdasarkan masing – masing kuadran.:

Tabel 4. 2 Besar Nilai Penurunan Muka Tanah Tahun 2018 – 2020

Tahun	Nilai Penurunan Muka Tanah				Rata –rata/ Tahun
	Kuadran I	Kuadran II	Kuadran III	Kuadran IV	
2018	-2.59 cm	-2.39 cm	-2.28 cm	-2.46 cm	-2.43 cm
2019	-1.51 cm	-1.89 cm	-1.78 cm	-1.52 cm	-1.67 cm
2020	-6.11 cm	-5.44 cm	-3.37 cm	-5.90 cm	-5.21 cm
Rata- rata	-3.24 cm	-3.40 cm	-3.29 cm	-2.48 cm	-3.10 cm

Secara keseluruhan sebagaimana terlihat pada tabel 4.1 bahwa pada tahun 2018 rata – rata penurunan yang terjadi sebesar 2,43 cm/per tahun. Pada tahun 2019 rata-rata penurunan yang terjadi sebesar 1,67 cm/per tahun. Dan pada tahun 2020 rata-rata penurunan yang terjadi sebesar 5,21 cm/per tahun. Semua tahun pada kuadran I-IV signifikan terjadi penurunan muka tanah dan yang paling tinggi terjadi pada kuadran II di kecamatan Semarang Utara setelah itu tertinggi kedua berada di Kuadran III di kecamatan Gayamsari setelah itu Kuadran I di Kecamatan Genuk dan terakhir Kuadran IV di kecamatan Pedurungan.

Dari hasil analisis data tersebut, maka diketahui bahwa rata-rata Penurunan permukaan tanah yang terjadi dalam 3 tahun (2018, 2019 dan 2020) sebesar 3.10 cm. Penurunan permukaan tanah yang terjadi di wilayah Kaligawe, Kecamatan Gayamsari dan daerah sekitarnya ini dapat dipahami dengan mengacu kepada beberapa hasil penelitian dan kajian teori yang terkait sebagai berikut:

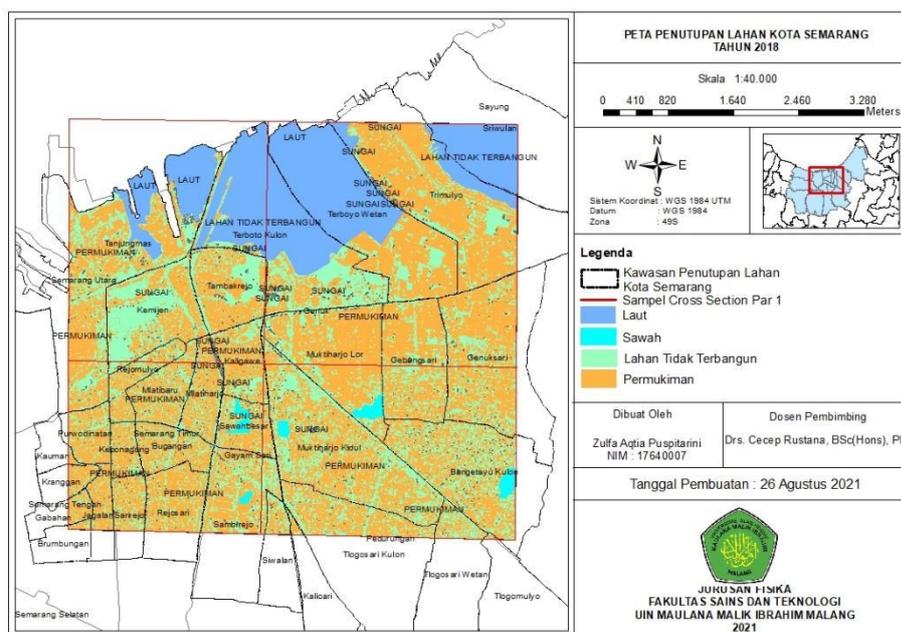
1. Hasil penelitian Dino dan Supriyadi (2017) menunjukkan bahwa penurunan muka airtanah di daerah industri Kaligawe Semarang menunjukkan bahwa penggunaan gayaberat mikro 4D dan gradien vertikal gayaberat 4D secara bersamaan dapat membantu dalam proses interpretasi sehingga dapat diketahui batas-batas anomali yang memberikan informasi tentang zona-zona penurunan muka air tanah dan amblesan. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa hampir 70% daerah penelitian mengalami penurunan muka air tanah dan amblesan, Hal ini didukung dengan adanya penurunan muka air tanah dari beberapa sumur pantau yang ada di sekitar daerah penelitian.
2. Penelitian oleh Lukman dkk (2017) dengan menggunakan citra SAR menunjukkan telah terjadinya penurunan permukaan tanah sedalam rata-rata 4,37 cm/tahun di wilayah kota Semarang. Penurunan yang terdalam terjadi di kecamatan Pedurungan dan Semarang Utara dengan kedalaman berturut-turut sedalam 0,35 cm/tahun, 8,31 cm/tahun dan 8,23 cm/tahun. Hal ini dapat dipahami karena kondisi geologi Kota Semarang yang merupakan wilayah yang terbentuk dari endapan aluvial yang masih tergolong muda. Endapan Aluvial yang masih muda ini memungkinkan terjadinya kompaksi yang dapat menyebabkan fenomena penurunan muka tanah. Selain itu, pengambilan air tanah di wilayah kota Semarang juga berkontribusi terhadap proses penurunan muka tanah.

Berdasarkan uraian penelitian terdahulu bahwa aplikasi metode *DInSAR* telah banyak dipakai untuk mempelajari kasus Penurunan Muka Tanah. Pada penelitian Dino dan Supriyadi yang dilaksanakan pada bulan Juni 2004 dan November 2005

sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya menyebutkan bahwa dengan menggunakan metode Gravity dapat diketahui telah terjadi penurunan tanah di hampir 70% wilayah kaligawe. Hasil penelitian Dino dan Supriyadi tersebut hampir sesuai dengan tabel 4.1 dimana Kaligawe berada di Kuadran 3 di Kecamatan Gayamsari. Sedangkan jika dibandingkan dengan Penelitian Lukman dkk yang menggunakan metode *DInSAR* tahun 2015 -2016 dapat diketahui bahwa walaupun nilai Penurunan Muka Tanahnya dari kedua hasil penelitiannya berbeda, tetapi khusus di Kecamatan Genuk, Kecamatan Pedurungan dan Semarang Utara terdeteksi telah mengalami Penurunan Muka Tanah yang signifikan hampir sama nilainya.

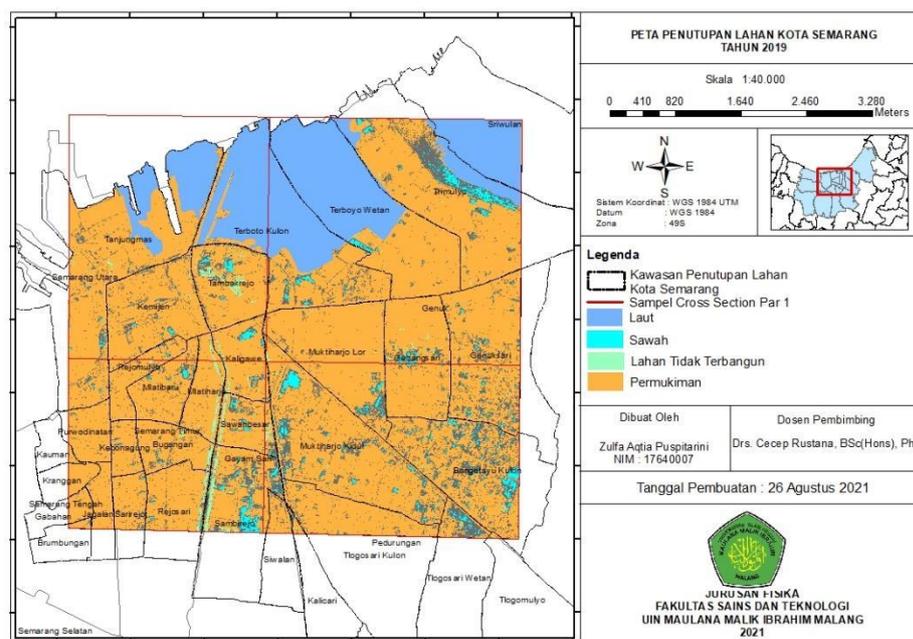
Terdeteksinya penurunan permukaan tanah tersebut jika dianalisis dengan mengacu kepada data lain seperti jumlah penduduk dan lainnya, maka dapat diketahui bahwa, besarnya peningkatan jumlah penduduk kota Semarang menjadi faktor penyebab penurunan permukaan tanah. Peningkatan jumlah penduduk di wilayah Kaligawe, kecamatan Gayamsari dan sekitarnya dapat diketahui dari perubahan tutupan tanahnya, sebagaimana akan dijelaskan berikut ini.

Kondisi geografis pada kuadran I yaitu Kecamatan Genuk, Kuadran II yaitu Kecamatan Semarang Utara, Kuadran II yaitu Kecamatan Gayamsari dan Kuadran IV yaitu Kecamatan Pedurungan yang dapat dilihat pada peta tutupan lahan juga menjadi faktor yang juga dapat menjadi penyebab penurunan permukaan tanah. Dimana kaligawe merupakan salah satu kelurahan yang berada di kecamatan Gayamsari.



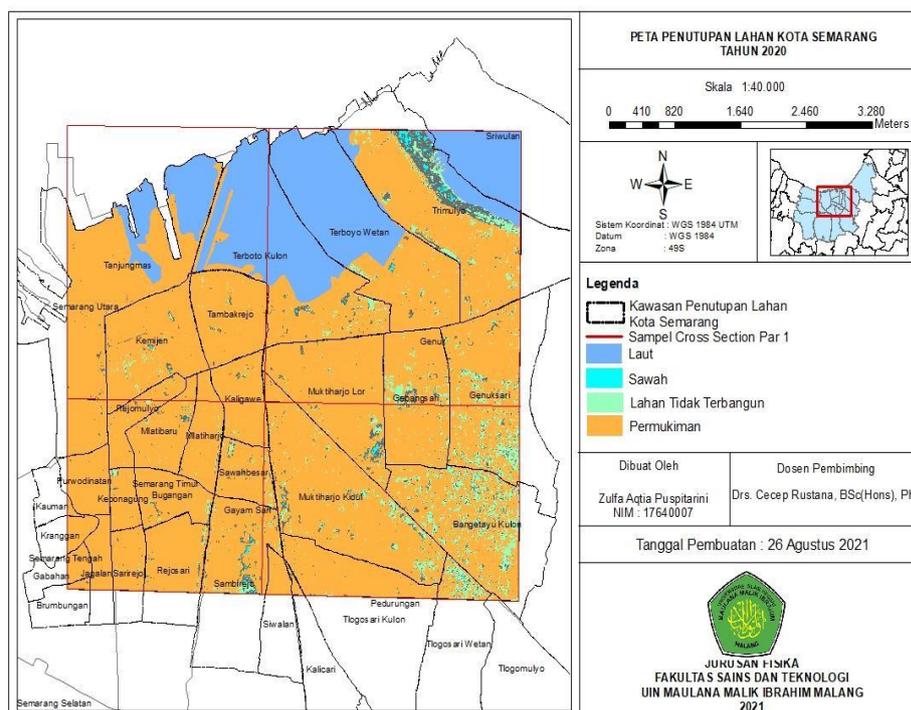
Gambar 4. 19 Peta Tutupan Lahan Tahun 2018

Gambar 4.19 – 4.21 memperlihatkan peta tutupan lahan kota Semarang berturut-turut mulai dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2020. Dapat dilihat pada peta tutupan lahan tahun 2018 diketahui bahwa pada semua Kuadran masih terdapat beberapa lahan tidak terbangun (warna hijau gelap) dan ada beberapa sawah (warna hijau terang) di beberapa kuadran walaupun padat penduduk (warna orange) tetapi pada tahun tersebut penurunan permukaan tanahnya rendah dan hanya di beberapa titik saja penurunannya tinggi yang mungkin akibat dari faktor lain seperti penambahan jumlah penduduk di titik tersebut. Pada tahun 2018 rata-rata tertinggi penurunan permukaan tanah terjadi pada Kuadran II yaitu daerah pesisir.



Gambar 4. 20 Peta Tutupan Lahan Tahun 2019

Menurut Pratiwi dkk sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.15 telah terjadi perubahan guna lahan pada Kuadran II, yaitu di Kecamatan Semarang Utara akibat perubahan guna lahan non terbangun (air, tegalan, semak belukar, kebun) menjadi lahan terbangun. Lahan terbangun tersebut rata-rata terjadi di daerah kawasan pelabuhan diantaranya untuk fasilitas pergudangan. Selain itu, terdapat pula perubahan lahan yang dikarenakan adanya reklamasi baik itu di tepi laut ataupun di kawasan tambak. Data memperlihatkan bahwa perubahan penggunaan lahan di Semarang Utara sebesar 48% di tahun 2015 dan menjadi 69% di tahun 2019 dengan kenaikan sebesar 21%. Kondisi ini menjadi faktor penyebab penurunan permukaan tanah terdalam dibandingkan dengan kuadran lainnya sebagaimana telah dibahas di atas.



Gambar 4. 21 Peta Tutupan Lahan Tahun 2020

Sementara itu, peta tahun 2020 jika dibandingkan dengan peta 2019 memperlihatkan adanya perubahan tutupan lahan di semua kuadran dimana beberapa lahan kosong (warna hijau gelap) telah berubah menjadi permukiman penduduk (warna orange). Sebagaimana diketahui bahwa permukiman menjadi sarana dasar yang akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, tuntutan ekonomi, dan sosial budaya (Pigawati & Rudiarto, 2011). Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat di pusat kota dan menyebar ke wilayah lainnya (Peragawati, Yuliasuti, & Mardiansyah, 2019) di Kota Semarang dari tahun ke tahun menyebabkan kebutuhan akan lahan permukiman semakin meningkat. Kecamatan Genuk pada Kuadran I termasuk dalam wilayah pinggiran Kota Semarang yang memiliki tingkat pertumbuhan lahan permukiman paling tinggi (Peragawati, Yuliasuti, & Mardiansyah, 2017). Hal tersebut menyebabkan meningkatkan kebutuhan akan air tanah sehingga terjadi penurunan daya dukung

tanah. Berkurangnya daya dukung tanah ini berdampak kepada terjadinya penurunan permukaan tanah yang juga semakin dalam sebagaimana telah dibahas di atas.

Pada kuadran I kepadatan penduduk pada tahun 2018 yaitu sebesar 130,434 dimana pada tahun 2018 ini adalah jumlah penduduk tertinggi dibandingkan tahun 2019 dan 2010. Tentunya semakin tinggi jumlah penduduk maka semakin pula aktifitas penggunaan air. Semakin tinggi penggunaan air semakin cepat penurunan tanah di daerah tersebut. Hal ini berakibat terjadinya defisit (krisis) air tanah, maka akibatnya adalah kota Semarang akan mengalami krisis air bersih dan kecepatan amblesan tanah di pesisir akan lebih cepat, karena rongga antar pori-pori tanah yang semula diisi oleh air akan kosong.

Jika dilihat dari peta tutupan lahan 2018 pada kuadran I, banyak pemukiman atau sudah banyak lahan yang terbangun dibandingkan tanah yang kosong. Maka banyaknya bangunan semakin meningkatnya jumlah kepadatan penduduk juga tentunya kebutuhan air semakin meningkat. Dari hasil penelitian ini pada kuadran I, nilai penurunan tanah sebesar 2.59 cm sampai 6.11 cm dari tahun 2018-2020. Disimpulkan bahwa pada kuadran I mengalami penurunan setiap tahunnya.

Pada Kuadran II Kepadatan penduduk pada tahun 2020 berjumlah 119,716 dimana pada tahun ini kepadatan penduduk paling banyak dibandingkan tahun 2018 dan 2019 dan pada tahun 2020 terjadi penurunan muka tanah paling besar yaitu sebesar 5.44 cm dibandingkan pada tahun 2018 dan 2019. Dilihat dari perubahan peta tutupan lahan pada tahun 2018 ke 2019 yang sebelumnya masih ada beberapa lahan kosong menjadi lahan terbangun. Dari hasil penelitian ini pada kuadran II nilai

penurunan sebesar 2.39 cm sampai 5.44 cm dari tahun 2018 sampai 2020. Dapat disimpulkan pada kuadran II terjadi penurunan setiap tahunnya.

Pada Kuadran III kepadatan penduduk terbesar terjadi pada tahun 2020 sebesar 195,589 dan pada tahun 2020 pun terjadi penurunan yang paling besar yaitu 3.37 cm dibandingkan dengan tahun 2018 dan 2020. Jika dilihat dari peta tutupan lahan pada kuadran III perubahan beberapa lahan kosong menjadi penduduk dari tahun 2018 sampai 2020 maka semakin banyaknya penduduk semakin bertambah juga kebutuhan air semakin meningkat. Dilihat dari hasil penelitian pada kuadran III nilai penurunan sebesar 2.46 cm sampai 3.37 cm dari tahun 2018 sampai 2020 dapat disimpulkan pada kuadran II terjadi penurunan setiap tahunnya.

Pada Kuadran IV kepadatan penduduk terbesar terjadi pada tahun 2020 sebesar 73,954 dan pada tahun 2020 pun terjadi penurunan yang paling besar yaitu 5.90 cm dibandingkan pada tahun 2018 dan 2020. Jika dilihat dari peta tutupan lahan pada kuadran IV dari tahun 2018 sampai 2020 beberapa perubahan lahan kosong menjadi penduduk maka semakin banyaknya penduduk maka semakin bertambah juga kebutuhan air akan semakin meningkat. Dilihat dari hasil penelitian pada kuadran IV nilai penurunan sebesar 2.46 cm sampai 5.90 cm dapat disimpulkan bahwa pada kuadran IV terjadi penurunan setiap tahunnya.

Data peningkatan jumlah penduduk dan penurunan permukaan tanah di wilayah Kaligawe kecamatan Gayamsari dan sekitarnya dalam tiga tahun (2018 – 2020) dapat diperlihatkan secara berurutan pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4. 3 Angka Kepadatan Penduduk tahun 2018 – 2020

Tahun	Kuadran 1	Kuadran 2	Kuadran 3	Kuadran 4	Total
2018	130,434	115,058	192,424	73,716	511,632
2019	124,795	114,798	190,498	73,554	503,645
2020	125,304	119,716	195,789	73,954	514,763

Data angka kepadatan penduduk diatas akan dibandingkan dengan rata –rata penurunan tanah per tahun. Berikut Tabel 4.4 Penurunan Muka Tanah per tahun :

Tabel 4. 4 Penurunan Muka Tanah per tahun

Tahun	Nilai Penurunan Muka Tanah				Rata - Rata
	Kuadran I	Kuadran II	Kuadran III	Kuadran IV	
2018	-2.59 cm	-2.39 cm	-2.38 cm	-2.46 cm	-2.43 cm
2019	-1.51 cm	-1.89cm	-1.78 cm	-1.52 cm	-1.67 cm
2020	-6.11 cm	-5.44cm	-3.37 cm	-5.90 cm	-5.21 cm

Dari uraian dan tabel tersebut di atas maka dapat dipahami bahwa peningkatan jumlah penduduk (populasi) dapat berpengaruh terhadap meningkatnya penggunaan air tanah untuk kebutuhan masyarakat dan meningkatnya beban permukaan tanah, yang semuanya tentunya akan berpengaruh terhadap terjadi penurunan permukaan tanah. Sebagaimana dijelaskan oleh Lolom (2017) bahwa pengambilan air tanah yang secara terus menerus (berlebih) akan mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) secara berkelanjutan. Hal tersebut tentunya akan berdampak terhadap penurunan stabilitas tanah dan daya dukung yang diberikan oleh tanah terhadap konstruksi bangunan yang ada di atasnya, khususnya di areal atau wilayah yang padat penduduk, yakni daerah pesisir kota. Hal ini dapat dipahami karena penambahan jumlah penduduk atau besarnya jumlah penduduk (lihat tabel 4.2) akan meningkatkan kebutuhan lahan untuk tempat tinggal, industri, perkantoran, dsb yang akan menambah beban

permukaan tanah dan juga peningkatnya penggunaan air tanah untuk kebutuhan rumah tangga, industry, perkantoran dan lain-lain, semua sektor tersebut tentunya membutuhkan air tanah. Pengambilan air tanah yang terus menerus dalam jumlah yang besar dan meningkatnya beban permukaan tanah karena bertambahnya jumlah penduduk yang tinggal di suatu wilayah, pada akhirnya tentu akan berdampak pada berkurangnya daya dukung tanah sehingga menyebabkan penurunan permukaan tanah (lihat tabel 4.3).

Dapat dilihat dari data kedua tabel diatas bahwa pada tahun 2020 dan 2018 jumlah penduduk naik secara signifikan sehingga nilai penurunan tanah pada tahun 2018 dan 2020 juga meningkat secara drastis jumlah penduduk. Ini dapat dipahami ketika jumlah penduduk terus meningkat maka pengambilan air tanah bagi kebutuhan rumah tangga, industry, perkantoran, dsb untuk wilayah perkotaan seperti di daerah Kaligawe, Kecamatan gayamsari dan sekitarnya juga meningkat. Pengambilan air tanah yang secara terus menerus akan mengakibatkan terjadinya penurunan tanah yang berkelanjutan dan itu terjadi pada kuadran I , kuadran II, kuadran II dan kuadran IV yang merupakan kawasan atau daerah padat penduduk.

Untuk tahun 2019 nilai penurunan tanahnya kecil. Hal ini dapat dipahami karena disebabkan oleh salah satu faktor karena yaitu jumlah penduduk dari semua Kuadran I,II,III, dan IV lebih kecil dibandingkan tahun 2018 dan 2020. Selain itu faktor lainnya yang dapat berpengaruh terhadap terjadinya penurunan tanah di daerah Kaligawe serta Kecamatan Gayamsari dan sekitarnya (Kuadran 1, 2, 3 dan 4) secara signifikan terkait juga dengan meningkatnya beban permukaan tanah akibat bertambahnya gedung-gedung untuk pemukiman, industry, perkantoran dan konstruksi lainnya yang tentunya menyebabkan turunnya daya dukung permukaan

tanah yang dapat mengakibatkan perubahan struktur geologis area studi yang memang juga lebih didominasi oleh endapan alluvial. Hal ini sesuai dengan Dang et al. (2014) yang menyatakan bahwa daerah yang didominasi aluvial yang tidak terkonsolidasi juga rawan terjadi penurunan tanah jika ada beban di atasnya, pemuatan ini akan menekan pembentukan sedimen (Dang et al., 2014).

Penelitian ini berfokus pada daerah pesisir Kaligawe, Kecamatan Gayamsari yang berada di Kuadran III dimana terjadi penurunan pada tahun 2018 sebesar 2.38 cm, pada tahun 2019 sebesar 1.78 cm dan pada tahun 2020 sebesar 3.37 cm faktor ini dilihat dari penambahan penduduknya dan juga kondisi geologi yang didominasi oleh alluvial pada daerah tersebut

4.4 Integrasi Penelitian dengan Al Qur'an dan Hadist

Manusia dalam memenuhi kebutuhannya memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia. Semakin banyak jumlah manusia, semakin banyak pula sumber daya alam yang digali, diolah dan dijadikan berbagai produk yang siap digunakan. Manusia dalam proses pengambilan, pengolahan dan pemanfaatan sumberdaya alam dilakukan secara eksploratif, berlebihan tanpa memperhatikan pelestarian lingkungan sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan hidup baik di darat, udara dan laut yang merugikan bagi manusia itu sendiri.

Dunia global saat ini sedang dihadapi pada satu persoalan serius yang menentukan kelangsungan hidup umat manusia dan alam semesta, yakni krisis lingkungan. Krisis lingkungan tidak hanya terjadi pada bangsa-bangsa barat saja melainkan pada bangsa-bangsa timur yang mayoritas beragama Islam. Kerusakan yang terjadi bersifat multidimensi tidak hanya kerusakan lingkungan saja melainkan juga kerusakan moral dan akhlak manusia. Isu yang kita hadapi saat ini

seperti pemanasan global (global warming), climate change, banjir, tanah longsor, kriminalitas dan degradasi moral masyarakat.

Oleh karena itu perlu adanya pengkajian mengenai ayat-ayat al-Qur'an yang berkaitan dengan kerusakan lingkungan dan dampaknya terhadap manusia sehingga dapat kita temukan sumber kerusakan dan cara penanggulangan kerusakan lingkungan yang berdampak multidimensional

Allah SWT berfirman dalam Al – Quran surat Al – Baqarah ayat 205 :

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ

“Apabila berpaling (dari engkau atau berkuasa), dia berusaha untuk berbuat kerusakan di bumi serta merusak tanam-tanaman dan ternak. Allah tidak menyukai kerusakan.” (Al-Qur'an dan terjemahan)

Ibnu Katsir menyatakan bahwa yang dimaksud dengan ayat ini adalah mengenai perbuatannya. Yakni perkataannya dusta belaka dan keyakinannya telah rusak, perbuatannya semua buruk belaka. Maksudnya, ia giat menyebarkan isu-isu negatif dan kebohongan serta melakukan aktivitas yang berakibat kehancuran dan kebinasaan masyarakat. Sungguh Allah akan menjatuhkan kepada mereka karena Allah tidak menyukai pengerusakan. Orang munafik yang disebutkan dalam surat Al-Baqarah 205 adalah orang munafik yang perbuatannya hanyalah membuat kerusakan di muka bumi dan membinasakan tanam-tanam, termasuk ke dalam pengertian persawahan dan buah-buahan, juga ternak. Mereka mengakui dirinya reformir (pembaharu) dan mengajak kepada perbaikan, tetapi sikapnya bertentangan dengan perkataannya, mereka gemar menimbulkan kerusakan di muka bumi. Di dalam tafsir Al-Aisar dijelaskan bahwa makna ayat di atas adalah Allah ta'ala mengabarkan kepada Rasul-Nya dan orang-orang yang beriman tentang kondisi orang-orang munafik, dan orang-orang yang beriman yang jujur,

dengan firmanNya kepada Rasulullah saw, “Dan diantara manusia terdapat seorang laki-laki yang munafik yang bicaranya baik, jika ia berkata maka akan membuatmu kagum karena keindahan tutur katanya. Hal itu jika ia membicarakan perkara-perkara kehidupan dunia, tetapi dalam perkara-perkara akhirat maka pasti ia tidak tahu, dan tidak punya keinginan untuk membicarakannya, karena ia kafir.”Ketika ia berbicara, Allah ta’ala menyaksikan bahwa Rasulullah percaya terhadap apa yang ia katakan, dimana ia berkata kepada Rasulullah saw, “Allah ta’ala mengetahui bahwa saya orang yang beriman, dan saya mencintaimu, dan Allah ta’ala menyaksikan bahwa saya seperti ini dan itu.” Dan jika ia beranjak dari majlismu dan menjauh darimu yakni, ia berjalan di bumi dengan melakukan kerusakan, yaitu menghancurkan tanaman dan binatang dengan melakukan berbagai perbuatan kriminal, maka hujan pun tidak turun dan hasil-hasil tanaman pun mengering, bumi kering, hewan-hewan mati, serta terputuslah keturunan dan pekerjaannya. Perbuatan seperti ini tidak akan disukai oleh Allah ta’ala. Dia membencinya dan membenci orang yang melakukannya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode *DinSar*, dapat ditarik kesimpulan bahwa dalam tiga tahun terakhir (2018-2020) telah terjadi penurunan permukaan tanah di wilayah pesisir Kaligawe penurunan muka tanah (*Land Subsidence*) pada tahun 2018, 2019 dan 2020 berturut-turut sebesar 2.43 cm, 1.67 cm dan 5.21 cm. Secara total dalam 3 tahun terakhir (2018, 2019, dan 2020) terjadi penurunan permukaan tanah sebesar 3.10 cm. Penurunan ini dapat dipahami akibat penambahan penduduk di wilayah Kaligawe, kecamatan Gayamsari dalam 3 tahun terakhir yg menyebabkan peningkatan penggunaan air tanah dan bertambahnya beban permukaan tanah karena perubahan tutupan lahan menjadi tempat tinggal, perkantoran, industri, dsb, sehingga menurunkan daya dukung tanah yang berdampak kepada perubahan struktur geologi wilayah studi yang secara umum didominasi oleh aluvial.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain :

- a. Untuk pengolahan *DInSAR* menggunakan Sentinel-1 sebaiknya menunggu keluar produk Sentinel-1b sehingga dengan kombinasi 2 satelit Sentinel-1 diharapkan data yang diperoleh memiliki lebih banyak variasi dengan resolusi temporal dan koherensi yang lebih baik.

- b. Untuk penelitian selanjutnya dianjurkan menyajikan data GPS serta uji validasi untuk mengetahui keakuratan nilai deformasi dari pengolahan *DinSAR*

DAFTAR PUSTAKA

- Alaska Satellite Facility. (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu> Diakses 20 April 2021).
- Al Quran dan Terjemahan. 2008. Bandung: Departemen Agama RI Diponegoro
- Bowles, Joseph E. 1991. *Sifat Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah)*, Erlangga, Jakarta.
- Curlander, J. C., dan R. N. McDonough. 1991. *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. New York.
- Dino dan Supriyadi. 2017. *Zonasi Penurunan Muka Air Tanah Di Wilayah Pesisir Berdasarkan Teknik Geofisika Gayaberat Mikro 4d (Studi Kasus: Daerah Industri Kaligawe Semarang)*. Universitas Negeri Semarang : Semarang.
- Emiyati, Manoppo AKS, Hartuti M. 2016. *Pemanfaatan data radar Sentinel 1 untuk pemetaan lahan tambak di Kabupaten Gresik Jawa Timur*. Prosiding Sinas Inderaja. Jakarta. Indonesia.
- ESA. 2013. Sentinel1 User Handbook, diunduh 3 Mei 2017 dari https://sentinel.esa.int/document/247904/685163/Sentinel1_User_Handbook
- Ferretti, A., Andrea MontiGuarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007a. *InSAR Principles : Guidelines For SAR Interferometry Processing And Interpretation*. The Netherlands: ESA Publications.
- Hadiyanto, E.H. 2011. *Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*. Surabaya: Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hanssen, R.F. 2001. *Radar Interferometry. Data Interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands: Delft University of Technology.
- Hartl, P., 1996. *Synthetic Aperture Radar, Theory and Applications*. Faculty of Geodesy Delft University of Technology. Lecture Note.
- Hardi, A.H. 2008. *Studi Pemanfaatan Band Yang Berbeda Pada Insar (Interferometric Synthetic Aperture Radar)*. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Hayati, N. 2013. *Analisa Gerakan Lereng (Slope Movement) di Daerah Rawan Bencana Longsor Menggunakan Teknologi DInSAR (studi Kasus: Kota*

Semarang, Jawa Tengah). Surabaya Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Indra. 2011. *Penggunaan Dual Pass Differential Insar Untuk Pemantauan Deformasi (Studi Kasus : Sesar Palu Koro)*. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung.
- Ismullah, I.H. 2004. *Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Digital (DEM) pada Radar Aperture Sintetik Interferometri (INSAR) Data Satelit*. Prosiding ITB Sains & Tek. 36A, 1:1132.
- Kusman, A. 2008. *Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR)*. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung.
- Massonnet D dan K. Feigl. 1998. "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface". *Reviews of Geophysics* 36, 4:441–500.
- Munir, M. 2003. *Geologi Lingkungan*. Malang: Bayumedia Publishing. Ng, A.H., dkk. 2008. "Radar Interferometry for Ground Penurunan muka tanah Monitoring Using ALOS PALSAR Data".
- Purna, T. 2009. *Pemanfaatan Metode InSAR untuk Pemantauan Deformasi Gunung Api dan Penurunan Tanah*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Rusmen , M. , dkk. 2012. "Analisis Deformasi Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2010/2011". Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika *Jurnal Geofisika* 13, 2.
- Sharav, A. 2003. *Differential SAR Interferometry for crustal deformation study*. The Netherlands : International Institute For GeoInformation Science And Earth Observation Enschede.
- Tomiyama, N. 2010. "Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry And Agriculture ". ISPRS Student Consortium And WG VI/5 5th Summer School, Hanoi, Vietnam, 610 November.
- Usai, S. 2001. *A New Approach for Long Term Monitoring of Deformation by Differential SAR Interferometry*. The Netherlands: Delft University Press.
- Yusuf dan Nur. 2019. *Analisis Penurunan Muka Tanah Sebagian Kota Semarang Tahun 2017/2019 Menggunakan Citra Sentinel 1A dan Teknik Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Universitas Gajah Mada : Yogyakarta.

- Zalite K, Voormansik K. 2016. *Differential and Persistent Scatterer SAR Interferometry. Tartu Observatory. Space Research Center.*
- Dang, V. K. dkk., 2014. *New Orleans Subsidence Cause by The Rapid Urban Development in The Hanoi Region (Vietnam) using ALOS InSAR Data. Natural Hazard and Earth System Science, Volume 14, pp. 657 – 674.*
- Mochammad, M. dan Saepuloh, A., 2017. *Analysis of Surface Deformation with SBAS InSAR Method and Its Relationship with Aquifer Occurrence in Surabaya City, East Java, Indonesia.* S.l., IOP.
- Suharsono. 2021 [Online] *Penurunan Muka Tanah di Semarang Parah, Dewan: Ada 24 Kelurahan di Lima Kecamatan Masuk di Zona Merah.* Tersedia di: <https://halosemarang.id/penurunan-muka-tanah-di-semarang-parah-dewan-ada-24-kelurahan-di-lima-kecamatan-masuk-di-zona-merah>. [Diakses 08-03-2022].
- Zhou, L. dkk., 2017. *Wuhan Surface Subsidence Analysis in 2015 – 2016 Based on Sentinel-1A Data by SBAS-InSAR. Remote Sens, Volume 8, p. 982.*
- Marsudi. 2000. *Prediksi Laju Amblesan Tanah di Dataran Alluvial Semarang Propinsi Jawa Tengah.* Disertasi. Bandung : Institut Teknologi Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data penelitian

1. Data Penurunan Tanah dri Tahun 2018-2020
Tahun 2018

2018				
Polygon	Kuadaran			
	1	2	3	4
1	-2.31	-2.91	-2.45	-2.28
2	-2.31	-2.25	-2.46	-2.20
3	-2.61	-2.78	-2.39	-2.20
4	-2.42	-2.64	-2.50	-2.19
5	-2.34	-2.58	-2.46	-2.06
6	-2.42	-2.59	-2.28	-2.11
7	-2.28	-2.66	-2.42	-2.02
8	-2.35	-2.49	-2.56	-2.29
9	-2.37	-2.43	-2.52	-2.26
10	-2.33	-2.50	-2.55	-2.33
11	-2.46	-2.55	-2.52	-2.39
12	-2.47	-2.56	-2.53	-2.39
13	-2.48	-2.50	-2.43	-2.45
14	-2.34	-2.58	-2.40	-2.42
15	-2.37	-2.48	-2.44	-2.36
16	-2.35	-2.57	-2.50	-2.39
17	-2.48	-2.62	-2.52	-2.37
18	-2.33	-2.54	-2.51	-2.29
19	-2.46	-2.57	-2.54	-2.38
20	-2.41	-2.62	-2.44	-2.22
21	-2.40	-3.04	-2.40	-2.22
22	-2.38	-2.58	-2.45	-2.41

Tahun 2019

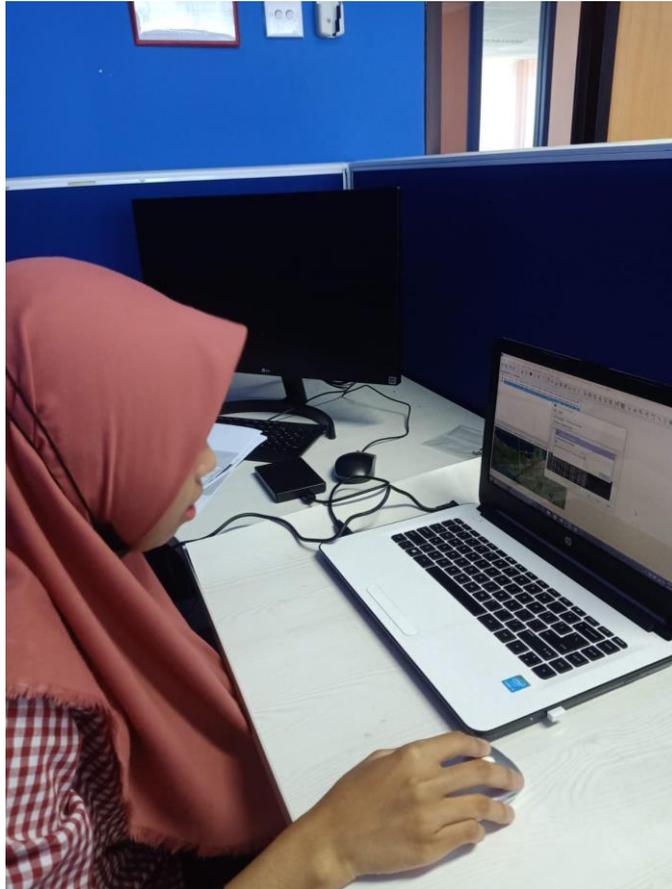
2019				
Polygon	Kuadaran			
	1	2	3	4
1	-1.88	-1.88	-1.68	-1.70
2	-2.00	-1.52	-1.57	-1.80
3	-2.06	-1.49	-1.58	-1.78
4	-1.90	-1.57	-1.50	-1.98
5	-1.83	-1.42	-1.52	-1.95
6	-1.87	-1.45	-1.52	-1.86
7	-1.87	-1.51	-1.52	-1.91
8	-2.00	-1.54	-1.53	-1.92
9	-1.61	-1.42	-1.53	-1.93
10	-1.64	-1.58	-1.51	-1.78
11	-2.04	-1.43	-1.45	-1.77
12	-2.01	-1.51	-1.45	-1.84
13	-1.96	-1.39	-1.49	-1.88
14	-1.92	-1.44	-1.51	-1.68
15	-2.05	-1.54	-1.57	-1.79
16	-1.80	-1.47	-1.65	-1.58
17	-1.88	-1.65	-1.60	-1.48
18	-1.95	-1.53	-1.48	-1.62
19	-1.89	-1.37	-1.54	-1.44
20	-2.16	-1.59	-1.46	-1.91
21	-1.88	-1.56	-1.46	-1.79
22	-1.45	-1.44	-1.44	-1.88

Tahun 2020

2020				
Polygon	Kuadaran			
	1	2	3	4
1	-6.14	-7.47	-6.05	-2.23
2	-6.66	-6.81	-5.12	-1.86
3	-7.20	-6.92	-5.70	-1.03
4	-5.23	-6.42	-5.83	-0.67
5	-4.15	-4.81	-5.55	-2.91
6	-4.96	-7.10	-6.69	-2.65
7	-4.01	-5.54	-5.42	-3.66
8	-6.58	-5.24	-5.71	-4.59
9	-6.46	-5.35	-6.36	-5.13
10	-6.58	-5.66	-6.62	-6.24
11	-4.22	-6.04	-5.59	-5.69
12	-6.22	-5.60	-5.97	-4.22
13	-4.12	-5.80	-6.84	-3.62
14	-4.22	-5.71	-6.58	-2.55
15	-5.75	-5.67	-6.31	-4.92
16	-6.69	-6.55	-5.95	-2.96
17	-5.69	-6.69	-5.51	-3.50
18	-5.78	-6.94	-4.51	-2.81
19	-4.17	-5.12	-5.97	-3.94
20	-4.26	-6.12	-5.99	-1.58
21	-5.31	-6.85	-5.69	-4.10
22	-3.58	-5.99	-5.75	-3.13

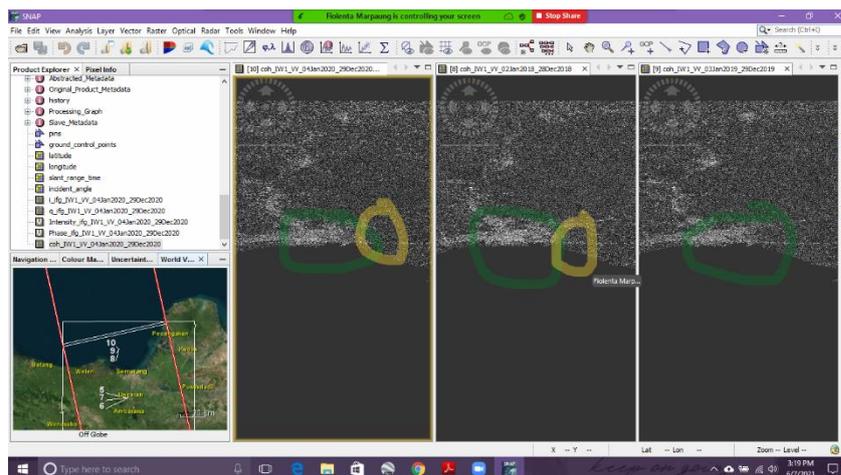
Lampiran 2. Foto Kegiatan

1. Penelitian Secara Offline Di Kantor BPPT



Gambar 1. Melakukan Pengolahan Data Di Kantor BPPT

2. Bimbingan Secara Online



Gambar 2. Bimbingan Online Mengenai Pengolahan Data