

**PEMETAAN ZONA PENURUNAN TANAH (*LAND SUBSIDENCE*)
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGINDERAAN JAUH
(Studi Kasus : Lumpur Lapindo,Sidoarjo)**

SKRIPSI

Oleh:
HESTININGSIH
NIM. 17640038



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**PEMETAAN ZONA PENURUNAN TANAH (*LAND SUBSIDENCE*)
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGINDERAAN JAUH
(Studi Kasus : Lumpur Lapindo,Sidoarjo)**

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:
HESTININGSIH
NIM. 17640038**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

PEMETAAN ZONA PENURUNAN TANAH (*LAND SUBSIDENCE*)
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGINDERAAN JAUH
(Studi Kasus : Lumpur Lapindo,Sidoarjo)

SKRIPSI

Oleh:
Hestiningsih
NIM. 17640038

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal,20 Desember 2021

Pembimbing I,



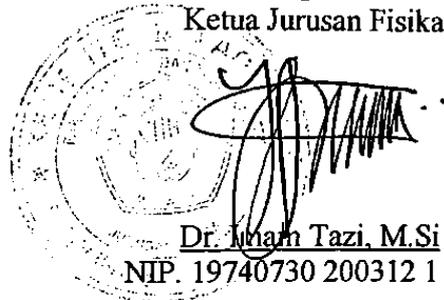
Irjan, M.Si
NIP. 19691231 200604 1 003

Pembimbing II,



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



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

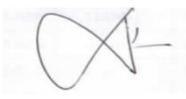
HALAMAN PENGESAHAN

PEMETAAN ZONA PENURUNAN TANAH (*LAND SUBSIDENCE*)
DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGINDERAAN JAUH
(Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo)

SKRIPSI

Oleh:
Hestingsih
NIM. 17640038

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 10Desember2021

KetuaPenguji	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Penguji Utama	<u>Ahmad Luthfin, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Sekretaris Penguji	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,

Ketua Jurusan Fisika



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : HESTININGSIH
NIM : 17640038
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Pemetaan Zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)
Dengan Menggunakan Metode Penginderaan Jauh(Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo)

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



Hestingsih
NIM. 17640038

MOTTO

Mengerjakan Skripsi itu nyata. *Think it! Speak it! Put the work in! and finally finish!*

HALAMAN PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tuaku tercinta Ibu Satini dan Bapak Siswanto yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, kasih sayang serta pengorbanan yang begitu luar biasa untuk masa depanku.
2. Untuk adikku Naufal Anwar Fauzanyang senantiasa mendorong dan menghiburku selama ini.
3. Para dosen dan pembimbing, yang telah memberikan petunjuk, pengetahuan, bimbingan dan pengarahan selama penyusunan penulisan sehingga mampu menyelesaikan skripsi dengan baik.
4. Teruntuk Kak Firda dan Kak Meitia yang selalu menemani disaat pengajuan judul dan selalu mensupport untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teruntuk sahabatku Erni Wahyuni, Zulfa Aqtia Puspitarini dan Suci Hari Rahmasariyang selalu memberiku semangat dan motivasi selama ini.
6. 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

Assalamua 'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Pemetaan Zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) dengan Menggunakan Metode Penginderaan Jauh(Studi Kasus : LumpurLapindo,Sidoarjo)”. Proposal skripsi ini ditulis dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

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

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam NegeriMaulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam NegeriMaulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika Universitas Islam NegeriMaulana Malik Ibrahim Malang.
4. Irjan, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan, motivasi dan meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi dengan baik.
6. Farid Samsu Hananto, S.Si., M.Pd selaku Dosen wali yang senantiasa memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi dan ilmu pengetahuan.
7. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam

NegeriMaulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.

8. Ir. Syaefudin, M.T dan Dr. Fiolenta Marpaung, M.Sc selaku Pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan diPusat Teknologi Sumber Daya Wilayah-Badan Pengkajian dan Penerapan (PTPSW-BPPT).
9. Segenap peneliti, staffdan teman-teman di Pusat Teknologi Sumber Daya Wilayah-Badan Pengkajian dan Penerapan (PTPSW-BPPT) yang telah banyak membantu dan memberikan pelayanan, pengalaman, serta wawasan selama proses penelitian.
10. Bapak, mama, adik serta keluarga di rumah yang selalu memberi doa dan dukungan, baik riil maupun materiil selama proses penelitian.
11. Teman-teman angkatan 2017 yang senantiasa memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan proposal skripsi ini.
13. *Last but not least, I wanna thank me for believing in me, for doingthis hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all times.*

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, 5 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN PERSETUJUAN	III
HALAMAN PENGESAHAN	IV
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	V
MOTTO	VI
KATA PENGANTAR	VIII
DAFTAR GAMBAR	XIII
DAFTAR TABEL	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Masalah.....	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Daerah Penelitian.....	10
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi.....	10
2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian	12
2.1.3 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	18
2.2 Teori Dasar Penurunan Tanah (Land Subsidence).....	21
2.2.1 Penurunan Tanah (Land Subsidence) di Porong,Sidoarjo	23
2.3 Sistem Penginderaan Jauh	24
2.4 Radar (Radio Detection and Ranging)	25
2.4.1 Citra SAR Kompleks	27
2.4.2 Amplitude Citra Radar	28
2.4.3 Phase Citra Radar	29
2.4.4 Panjang Gelombang dan Frekuensi	30
2.5 Geometri Pencitraan Radar	31
2.6 Pencitraan Radar Pada Range Direction dan Azimuth Direction	33
2.7 Representasi Perbedaan Topografi Pada Citra Radar	34
2.8 Prinsip Pencitraan Synthetic Aperture Radar (SAR)	36
2.9 Kualitas Interferogram.....	39
2.9.1 Koherensi Citra SAR	39
2.9.2 Sumber Penurunan Koherensi	39
2.10 Differential Interferometry SAR (DInSAR)	43
2.11 Sentinel 1	45
2.12 Software SNAP	46
2.13 Software QGIS.....	47
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	48
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	48
3.3 Jenis Data.....	49
3.4 Tahapan Penelitian	50
3.4.1 Tahap Pengumpulan Data	50
3.4.2 Tahap Pre-ProcessingData	51
3.4.3 Tahap Processing Data.....	51

3.4.4 Tahap Interpretasi Citra.....	54
3.5 Diagram Alir.....	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pre-Processing Data	61
4.2 Hasil Processing Data.....	65
4.3 Pembahasan	73
4.3.1 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2014	73
4.3.2 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2015	75
4.3.3 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2016	77
4.3.4 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2017.....	80
4.3.5 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2018	82
4.3.6 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2019	84
4.3.7 Analisa Besar Land Subsidence Tahun 2020	86
4.3.8 Analisa Perbandingan Besar Land Subsidence dengan Penelitian Terkait	88
4.3.9 Validasi Besar Land Subsidence menggunakan Data Jumlah Penduduk Kab.Sidoarjo Tahun 2014-2020	94
4.3.10 Analisa Berdasarkan Kondisi Geologi dan Geografis.....	97
4.4 Integrasi Penelitian dengan Al- Qur'an dan Hadist	99
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	105
5.2 Saran.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Fisiografi Lembar Surabaya dan Sapulu	10
Gambar 2.2	Peta Morfologi Lembar Surabaya dan Sapulu.....	11
Gambar 2.3	Stratigrafi Daerah Porong Sidoarjo.....	13
Gambar 2.4	Peta Geomorfologi Daerah Porong Sidoarjo	18
Gambar 2.5	Peta Geologi Porong Sidoarjo	21
Gambar 2.6	Pencitraan Radar pada Berbagai Permukaan.....	28
Gambar 2.7	<i>Phase</i> Gelombang	29
Gambar 2.8	Geometri Pencitraan Radar	32
Gambar 2.9	<i>Slant Range</i> dan <i>Ground Range</i>	33
Gambar 2.10	Geometri <i>Layover</i>	34
Gambar 2.11	Geometri <i>Foreshortening</i>	35
Gambar 2.12	Geometri <i>Shadow</i>	35
Gambar 2.13	Geometri Pencitraan Sistem <i>SAR</i>	37
Gambar 2.14	Geometri <i>Three Pass Interferometry</i>	43
Gambar 3.1	Diagram Alir <i>Processing Data</i>	58
Gambar 4.1	Estimasi Jarak Utama dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020.....	63
Gambar 4.2	Hasil Koregistrasi Citra dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020.....	64
Gambar 4.3	Interferogram Phase dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020.....	65
Gambar 4.4	Nilai Koherensi dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	65
Gambar 4.5	Hasil Interferogram Setelah Deburst dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	67
Gambar 4.6	Hasil Penghapusan Topografi dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	68
Gambar 4.7	Hasil Filter Goldstein dari pasangan citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020.....	69
Gambar 4.8	Hasil Interferogram Multilooking dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	69
Gambar 4.9	Hasil Phase Unwrapping dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	70
Gambar 4.10	Hasil Phase to Displacement dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	71
Gambar 4.11	Hasil Geocoding dari Pasangan Citra 11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	72
Gambar 4.12	Hasil Masking Daerah Penelitian pada Citra	72
Gambar 4.13	Menu Bar Export Mask Pixel sebagai Nilai Subsidence dan Uplift pada Citra	73
Gambar 4.14	Peta Sebaran Koordinat Cartesian1	74
Gambar 4.15	Peta Sebaran Koordinat Cartesian 2	76
Gambar 4.16	Peta Sebaran Koordinat Cartesian 3	78
Gambar 4.17	Peta Sebaran Koordinat Cartesian 4	80
Gambar 4.18	Peta Sebaran Koordinat Cartesian 5	82
Gambar 4.19	Peta Sebaran Koordinat Cartesian 6	84

Gambar 4.20	Peta Sebaran Koordinat Cartesian7	86
Gambar 4.21	Peta Penurunan Muka Tanah Kawasan Bencana Lumpur Lapindo Tahun 2014-2020	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Stratigrafi Porong Sidoarjo	14
Tabel 2.2	Deskripsi Band Pada Radar (Tomiyama, 2010)	30
Tabel 3.1	Citra <i>SAR</i> yang Digunakan Pada Tahun 2014-2020	49
Tabel 4.1	Data Orbit Citra <i>SAR</i>	60
Tabel 4.2	Data Produk Citra <i>SAR</i>	66
Tabel 4.3	Besar Deformasi Tahun 2014-2020	88
Tabel 4.4	Prakiraan <i>Subsidence</i> dari Pengukuran GPS	90
Tabel 4.5	Besar Deformasi dari Pengukuran GPS	90
Tabel 4.6	Besar Deformasi Tahun 2008-2011	91
Tabel 4.7	Prediksi Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo	92
Table 4.8	Angka kepadatan Penduduk tahun 2014-2020	94
Table 4.9	Rata-rata penurunan tanah tahun 2014-2020	95
Table 4.10	Jumlah Industri dari tahun 2014-2020	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Penelitian.....	112
Lampiran 2 Desain Penelitian	117
Lampiran 3 Peta Geologi Lembar Surabaya, Sapulu.....	121
Lampiran 4 Foto Kegiatan.....	122
Lampiran 5 Bukti Konsultasi Skripsi.....	129

ABSTRAK

Hestningsih. 2020. **Pemetaan Zona Penurunan Tanah(Land Subsidence) dengan menggunakan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**. Skripsi : Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Pembimbing : (I) Irjan, M.Si, (II) Erna Hastuti, M.Si

Kata Kunci : Lumpur Lapindo Sidoarjo, *Land Subsidence*, Metode DInSAR

Penelitian geofisika dengan metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* telah dilakukan untuk pemetaan zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) di Lumpur Lapindo, Sidoarjo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zona rawan yang mengalami Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) dan untuk menentukan besar laju Penurunan Tanah (*Land Subsidence*). 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 2014-2020. Hasil yang diperoleh yaitu Pola deformasi didapatkan dari hasil DInSAR pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada tahun 2014-2020 cenderung mengalami subsidence. Hanya saja di tahun 2015 pada kuadran I dan IV mengalami uplift serta pada tahun 2016 kuadran II juga mengalami uplift. Lalu Deformasi yang terjadi pada tahun 2014 mengalami penurunan tanah sebesar 1,66 cm, pada 2015 memiliki penurunan tanah sebesar 0,05 cm, lalu pada tahun 2016 memiliki nilai penurunan tanah sebesar 0,48 cm, setelah itu pada tahun 2017 mengalami penurunan tanah sebesar 0,71 cm, dan tahun 2018 mengalami penurunan tanah sebesar 2,81 cm, pada tahun 2019 mengalami penurunan sebesar 1,22 cm, dan yang terakhir pada tahun 2020 mengalami penurunan tanah yang sangat signifikan yaitu sebesar 5,58 cm.

ABSTRACT

Hestiningsih. 2020. Mapping the Zone of Land Subsidence using the Remote Sensing Method (Case Study: Lapindo Mud, Sidoarjo). Thesis: Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang, Supervisor : (I) Irjan, M.Si, (II) Erna Hastuti, M.Si

Keywords: Lapindo Sidoarjo Mud, 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 Lapindo Mud, Sidoarjo. This study aims to determine the vulnerable zone experiencing Land Subsidence and to determine the rate of Land Subsidence. SNAP and QGIS software are used to process the data.

In this study, the 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 period of 2014-2020.

The results obtained, namely the deformation pattern obtained from the DInSAR results in this study, showed that in 2014-2020 they tended to experience subsidence. However, in 2015, quadrants I and IV experienced an uplift and in 2016, quadrant II also experienced an uplift. in 2016 it had a land subsidence of 0.48 cm. After that, in 2017, it experienced a land subsidence of 0.71 cm, and in 2018, it experienced a land subsidence of 2.81 cm, in 2019 it decreased by 1.22 cm, and the last one in 2020 experienced a very significant land subsidence of 5.58 cm.

مستخلص البحث

هيستي نينجسيه، 2020، رسم خرائط منطقة هبوط الأرض باستخدام طريقة الاستشعار عن بعد (دراسة الحالة: الطين لايندو، سيدوارجو). بحث جامعي: قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم، مالانج، المشرف: (1) إيرجان، الماجستير، (2) إيرنا هاستوتي، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: الطين لايندو سيدوارجو، هبوط الأرض، طريقة قياس التداخل التفاضلي الاصطناعي للفتحة عن الرادار (DInSAR).

تم إجراء البحث الجيوفيزيائي باستخدام طريقة قياس التداخل التفاضلي الاصطناعي للفتحة عن الرادار لرسم خرائط منطقة هبوط الأرض في الطين لايندو، سيدوارجو، كن الهدف من هذا البحث لمعرفة المناطق الضعيفة التي تعاني من هبوط الأرض لمعرفة معدل هبوط الأرض، معالجة البيانات باستخدام برنامجي (SNAP و QGIS)، في هذا البحث، يمكن تنزيل بيانات صور الأقمار الصناعية الحارس من المستوى الأول من A1 في مرفق ألاسكي للأقمار الصناعية أو صفحة <https://search.alaska.edu/#/> وأظهرت النتائج التي المحصلة من نمط التشوه التي تم الحصول عليها من نتائج قياس التداخل التفاضلي الاصطناعي للفتحة عن الرادار في هذا البحث أنه في الفترة 2014-2020 تميل إلى تجربة الهبوط، كل ما في الأمر أنه في عام 2015 في الربع الأول والرابع شهدت رفع وفي عام 2016 شهدت الربع الثاني أيضا رفع، ثم شهد التشوه الذي حدث في عام 2014 انخفاضا في التربة بمقدار 1,66 سنتيمتر، وفي عام 2015 انخفض في التربة بمقدار 0,05 سنتيمتر، في عام 2016، كان لها قيمة هبوط الأراضي من 0,48 سنتيمتر، بعد ذلك في عام 2017 شهدت انخفاضا في التربة بنسبة 0,71 سنتيمتر، وفي عام 2018 شهد انخفاضا في الأرض بمقدار 2,81 سنتيمتر، في عام 2019، انخفض بمقدار 1,22 سنتيمتر، وشهد الآخر في عام 2020 هبوط الأرض كبيرا جدا بمقدار 5,58 سنتيمتر.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana alam yang diakibatkan oleh keserakahan manusia saat ini di Indonesia sangat banyak seperti: banjir, tanah longsor, kebakaran hutan dan semburan lumpur ataupun bencana lainnya. Khususnya bencana alam yang telah terjadi sejak tanggal 29 Mei 2006 atau tepatnya sekitar 15 tahun yang lalu yaitu semburan lumpur di Desa Porong, Sidoarjo Jawa Timur, atau yang lebih dikenal dengan Lumpur Lapindo. Lumpur tersebut disebabkan karena kecerobohan dari PT. Lapindo Brantas Inc. yang melanggar standar operasional yang telah ditetapkan. Sampai saat ini, semburan lumpur tersebut tak berhenti dan telah menimbulkan kerugian material yang besar.

Melihat kondisi lingkungan tersebut, Al-qur'an telah menjelaskan tentang kerusakan alam yang disebabkan oleh perbuatan tangan manusia. Kerusakan tersebut merupakan hasil keserakahan dan kecerobohan dari manusia itu sendiri. Seperti yang dijelaskan dalam surat Ar-Rum ayat 41 berikut :

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

Artinya : Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Dalam Tafsir Al-Madinah Al-Munawwarah dijelaskan dalam kata *ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ* (Telah nampak kerusakan di darat dan di laut) yang dimaksud dengan (البحر)

adalah perkotaan dan pedesaan yang berada di atas laut atau sungai. Sedangkan (البر) adalah perkotaan dan pedesaan yang tidak berada di atas laut atau sungai (Imam Zuhair Hafidz, 2016).

بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ (disebabkan karena perbuatan tangan manusia) Allah menjelaskan bahwa kemusyrikan dan kemaksiatan adalah sebab timbulnya bencana di alam semesta. Bencana ini seperti kekeringan, paceklik, ketakutan yang merajalela, barang-barang yang tidak laku, sulitnya mencari penghidupan, maraknya perampokan dan kezaliman, dan lain sebagainya (Imam Zuhair Hafidz, 2016).

Dalam Tafsir Hidayatul Insan bi Tafsir Qur'an menjelaskan bahwa sifat buruk manusia berasal dari menuhankan hawa nafsu. Melalui ayat tersebut Allah menegaskan kepada manusia yang mempertuhankan hawa nafsu dapat mengakibatkan kerusakan di muka bumi. Sehingga kerusakan di darat dan di laut, baik di kota maupun di desa, itu semua disebabkan karena perbuatan tangan manusia yang dikendalikan oleh hawa nafsu dan jauh dari tuntunan fitrah (Marwan Hadidi bin Musa, 2010).

Berdasarkan penjelasan dari dua kitab tafsir tersebut, dapat kita simpulkan bahwa kerusakan alam yang diakibatkan oleh manusia didasari oleh rasa serakah (hawa nafsu) dan kecerobohan. Dari bencana lumpur lapindo, yang bisa kita lakukan saat ini adalah mengantisipasi bencana lanjutan yang mungkin terjadi. Berdasarkan sebuah penelitian, bencana semburan lumpur menyebabkan penurunan tanah di daerah tersebut. Tanah yang turun akan berdampak pada tenggelamnya kawasan itu. Maka dari itu perlu sekiranya kita dapat mendeteksi hal tersebut sejak dini, agar warga sekitar dapat segera mengevakuasi diri sebelum bencana lanjutan terjadi.

Kemungkinan yang terjadi dari efek semburan lumpur jika sampai seterusnya tidak berhenti yaitu kawasan setempat akan menjadi gunung, apabila volume lumpur lebih besar dari volume tanah yang turun lalu kemungkinan selanjutnya yaitu akan tetap menjadi kawasan datar jika volume lumpur dan penurunan tanah seimbang serta kemungkinan terakhir adalah dapat menjadi danau jika volume penurunan tanah (ambles) lebih besar daripada volume semburan lumpur. Namun, kemungkinan terjadi lebih condong ke penurunan tanah secara mendadak secara teori sangatlah kecil. Saat ini yang harus diwaspadai adalah pergerakan tanah dan penurunan tanah yang dapat menyebabkan pergeseran rel kereta api atau putusnya jalan tol yang tentunya hal tersebut sangat mempengaruhi aspek sosial kemasyarakatan yang lebih luas tidak hanya disekitar daerah semburan lumpur dan jika tidak teratasi maka Sidoarjo akan hilang atau tenggelam.

Land subsidence didefinisikan sebagai penurunan muka tanah sebagai fungsi dari waktu yang diakibatkan oleh proses alamiah dan aktivitas manusia. Contoh penyebab terjadinya penurunan tanah adalah pengambilan air tanah yang berlebihan (*groundwater over exploitation*), keluarnya gas dan lumpur secara masif dari dalam tanah ke permukaan, penurunan karena beban bangunan diatas permukaan, penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena gaya-gaya tektonik Semarang, Bangkok, Shanghai, dan Tokyo. Dari studi penurunan tanah yang dilakukan selama ini, diidentifikasi ada beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan tanah yaitu : Pengambilan air tanah yang berlebihan, penurunan karena beban bangunan, penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena

gaya-gaya tektonik. Dari empat tipe penurunan tanah ini, penurunan akibat pengambilan air tanah yang berlebihan dipercaya sebagai salah satu tipe penurunan tanah yang dominan untuk kota-kota besar tersebut (Doukas,2004).

Data dan informasi tentang penurunan muka tanah akan sangat bermanfaat bagi aspek- aspek pembangunan seperti untuk perencanaan tata ruang (di atas maupun di bawah permukaan tanah), perencanaan pembangunan sarana/prasarana, pelestarian lingkungan, pengendalian dan pengambilan airtanah, pengendalian intrusi air laut, serta perlindungan masyarakat (linmas) dari dampak penurunan tanah (seperti terjadinya banjir). Oleh karena itu sudah sewajarnya bahwa informasi tentang karakteristik penurunan tanah ini perlu diketahui dengan sebaik-baiknya dan kalau bisa sedini mungkin. Dengan kata lain fenomena penurunan tanah perlu dipelajari dan dipantau secara berkesinambungan, artinya proses monitoring sangat berperan penting.

Kabupaten Sidoarjo sebagai salah satu penyangga Ibukota Provinsi Jawa Timur merupakan daerah yang mengalami perkembangan pesat. Keberhasilan ini dicapai karena berbagai potensi yang ada di wilayahnya seperti industri dan perdagangan, pariwisata, serta usaha kecil dan menengah dapat dikemas dengan baik dan terarah. Dengan adanya berbagai potensi daerah serta dukungan sumber daya manusia yang memadai, maka dalam perkembangannya Kabupaten Sidoarjo mampu menjadi salah satu daerah strategis bagi pengembangan perekonomian regional. Kabupaten Sidoarjo terletak antara 112°5' dan 112°9' Bujur Timur dan antara 7°3' dan 7°5' Lintang Selatan. Topografi di Kabupaten Sidoarjo yaitu Dataran Delta dengan ketinggian antar 0 s/d 25 m, ketinggian 0-3meter dengan luas 19.006 Ha, meliputi 29,99%, merupakan daerah pertambakan yang berada di

wilayah bagian timur. Wilayah Bagian Tengah yang berair tawar dengan ketinggian 3-10 meter dari permukaan laut merupakan daerah pemukiman, perdagangan dan pemerintahan. Meliputi 40,81 %. Wilayah Bagian Barat dengan ketinggian 10-25 meter dari permukaan laut merupakan daerah pertanian meliputi 29,20%.

Penginderaan jauh didefinisikan sebagai ilmu dalam mengumpulkan informasi suatu objek tanpa menyentuh atau berkontak fisik langsung dengan objek tersebut. Secara umum, penginderaan jauh berkaitan dengan pengolahan citra dalam mengetahui atau mengamati suatu fenomena di muka bumi. Prinsip dasar dari penginderaan jauh adalah adanya rekaman interaksi antara gelombang elektronik dan objek di muka bumi yang tertangkap oleh sensor penangkap gelombang. Penangkap gelombang ini dapat berupa satelit, pesawat, atau pesawat tanpa awak.

Keunggulan penginderaan jauh dibandingkan survei langsung ke lapangan yaitu Produk atau hasil perekaman melalui sistem penginderaan jauh 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 ataupun tiga dimensi dan penginderaan jauh mampu menjangkau lokasi fenomena Geosfer yang sulit untuk diteliti. Jadi penginderaan jauh sangat cocok digunakan dalam persebaran dan pemetaan penurunan tanah (*Land Subsidence*) di area lumpur lapindo karena survey dilakukan dengan meneliti beberapa kecamatan terdekat dimana wilayahnya sangat luas dan sesuai dengan keadaan aslinya serta

jika menggunakan penelitian survei langsung ke lapangan tidak bisa dilakukan secara berkala karena nilai penurunan tanah dibutuhkan data secara berkala.

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) adalah metode pencitraan radar ke samping dengan memanfaatkan perbedaan fasa dua atau lebih citra SAR dengan akuisisi yang berbeda dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi (Akbar dkk., 2015). Francis dkk (1996) menuliskan bahwa teknik *DInSAR* pada dasarnya menggunakan dua citra SAR untuk mengidentifikasi perubahan spasial suatu daerah yang memanfaatkan koheren dalam pengukuran fase interferometrik dari permukaan yang sama. Hasil dari perbedaan fase menghasilkan jenis citra baru yang disebut interferogram. Interferogram akan menunjukkan apakah wilayah yang diteliti tersebut mengalami penurunan muka tanah atau kenaikan muka tanah.

Kelebihan dari metode *DInSAR* yaitu karena memiliki area pengamatan yang mencakup luas, dapat mengamati siang dan malam, tidak ada pengaruh awan maupun cuaca, ekonomis (untuk pengamatan di area yang luas dan kerapatan titik pengamatan yang tinggi) dan perkembangan teknologi SAR yang terus meningkat dari waktu ke waktu.

Penelitian terdahulu tentang penurunan tanah digunakan sebagai penunjang penelitian ini adalah penelitian dengan judul Studi Pengamatan Penurunan dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode Penginderaan Jauh (Studi kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo) (Sedy Ayu Yulyta dkk, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar *subsidence* dan *uplift* serta untuk mendapatkan besar deformasi dengan ketelitian mencapai sub sentimeter. Pengolahan data dilakukan dengan data *SAR* yang dilakukan dengan metode *DInSAR*. Berdasarkan hasil

metode *DInSAR* menunjukkan deformasi vertikal yang terjadi di sekitar wilayah semburan bervariasi, di beberapa lokasi mengalami *subsidence* dan beberapa mengalami *uplift*, tergantung peristiwa yang terjadi pada kurun waktu tersebut. Rata-rata besar penurunan tanah yang terjadi antara 2008-2011 yaitu antara 0-20 cm/tahun sedangkan *uplift* rata-rata 0-10 cm/tahun. Dan penelitian lain untuk memperkuat data yaitu dengan judul Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Berdasarkan Data Pengamatan GPS April, Mei, Juni dan Oktober 2016 (Kukuh Prakoso Sudarsono dkk, 2017), dimana Lumpur Sidoarjo terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas serta berdampak adanya fenomena penurunan tanah (*land subsidence*) disekitar kawasan tersebut sehingga dilakukan penelitian untuk mengetahui nilai penurunan dan kenaikan tanah dalam kurun waktu yang singkat yaitu bulan April, Mei, Juni dan Oktober 2016 lalu untuk menentukan titik pergeserannya. Pengambilan data menggunakan GPS Geodetik dan diikatkan oleh CORS ITS lalu diolah menggunakan GAMIT/GLOBK. Dari hasil pengolahan data GPS yang diamati pada bulan April, Mei, Juni dan Oktober 2016 didapatkan nilai penurunan terendah -0,26709 m pada titik TTG 1307 dan kenaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14. Namun, apabila dilihat secara keseluruhan, titik pada penelitian 2016 ini cenderung untuk mengalami penurunan tanah. Hasil uji t-test menunjukkan bahwa terdapat 14 titik yang mengalami penurunan tanah secara signifikan dan terdapat 5 titik yang mengalami penurunan tanah bersifat tidak signifikan atau hanya bersifat numeris.

Berdasarkan ulasan yang telah diterangkan di atas, maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Pemetaan Zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) dengan Menggunakan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus

: Lumpur Lapindo,Sidoarjo)”, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat memberikan informasi mengenai zona rawan penurunan tanah bagi masyarakat sekitar Lumpur Lapindo, Sidoarjo. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu data citra yang digunakan berbeda lalu diperbaharui tahun terbaru diharapkan penurunan tanah dapat diamati dengan baik menggunakan citra sentinel 1 dan data yang diambil pada tahun terbaru sehingga dapat dijadikan perbedaan penurunan tanah yang terjadi. Sehingga penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan konstruksi dan rekayasa serta penunjang untuk pengembangan penelitian akademisi dalam bidang geofisika, geologi dan geoteknik selanjutnya serta pihak lain yang membutuhkan terkait penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Dimana zona rawan yang mengalami penurunan tanah (*Land Subsidence*) di Sekitar Lumpur Lapindo,Sidoarjo ?
2. Berapa besar laju penurunan tanah (*Land Subsidence*) dalam 2014-2020 di sekitar Lumpur Lapindo,Sidoarjo ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui zona rawan yang mengalami penurunan tanah (*Land Subsidence*) di Sekitar Lumpur Lapindo,Sidoarjo.

2. Untuk menentukan besar laju penurunan tanah (*Land Subsidence*) dalam 2014-2020 di sekitar Lumpur Lapindo, Sidoarjo.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Data menggunakan radar Sentinel IA pada tahun 2014-2020 yang diunduh di Alaska Satellite Facility dimana lokasi spot terletak di sekitar Lumpur Lapindo, Sidoarjo. Cakupan area penelitian terletak pada koordinat $7^{\circ}30'25.63''$ - $7^{\circ}33'7.63''$ LS dan $112^{\circ}41'09.02''$ - $112^{\circ}44'29.76''$ BT.
2. Peralatan yang digunakan adalah PC/Laptop, OS Windows 10, Microsoft Office 2016, Google Earth Pro, *SNAP*, dan *QGIS*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat didapat dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Pemerintah dan masyarakat khususnya dilakukan penelitian ini adalah untuk mitigasi bencana geologi dan dapat bermanfaat dalam proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian pembangunan yang berkelanjutan.
2. Bagi peneliti, yaitu memperdalam ilmu pengetahuan tentang penggunaan metode *DInSAR* untuk mengetahui penurunan tanah (*Land Subsidence*).

BAB II

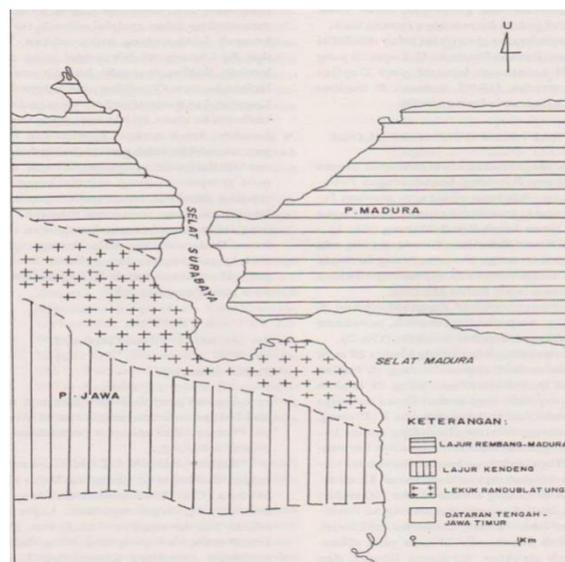
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Daerah Penelitian

Pembagian satuan geomorfologi daerah penelitian ditentukan melalui berbagai tahap yaitu analisis pada peta topografi dengan melihat pola-pola kontur, kemudian melakukan sayatan morfometri (pengukuran beda tinggi dan sudut lereng) pada peta topografi serta melakukan pengamatan lapangan untuk hasil morfogenesisnya.

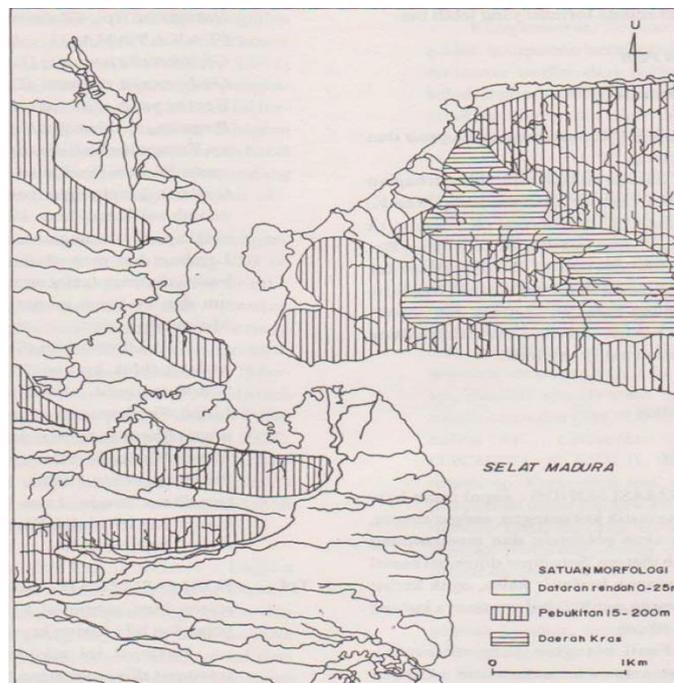
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi

Secara fisiografi daerah ini termasuk bagian timur Perbukitan Kendeng, bagian tengah perbukitan Rembang-Madura, pedataran alluvium Jawa sebelah utara, pedataran tengah Jawa Timur dan bagian Timur lekuk Randublatung yang terdapat pada gambar 2.1. Bagian timur Perbukitan Kendeng yang ada di Lembar ini tertutup alluvium.



Gambar 2.1 Peta Fisiografi Lembar Surabaya dan Sapulu

Tiga Satuan morfologi dapat dibedakan di Lembar ini, yaitu pedataran rendah, perbukitan menggelombang dan perbukitan kras yang terdapat pada 2.2. Pedataran rendah berjulung hingga 25 m diatas permukaan laut, dan terbentang di bagian dibagian selatan dan tengah lembar. Yang di selatan lembar merupakan bagian dari Delta Sidoarjo yang dibentuk oleh K.Surabaya dan K.Porong. Pebukitan menggelombang berjulung antara 15-200 m diatas permukaan laut, umumnya berpuncak tumpul dan berlereng landau.



Gambar 2.2 Peta Morfologi Lembar Surabaya dan Sapulu

Sungai di lembar ini banyak yang dikendalikan oleh struktur terutama lipatan dan sesar. Di bagian Selatan lembar, pada umumnya pola penyaliran berkembang secara terkoordinasi dan K.Brantas akibat muatan yang dibawanya berupa bahan letusan gunung api akhirnya terdesak hingga ke Pegunungan Kendeng. Hilirnya yang disebut K.Surabaya dan K.Mas, akhirnya menemukan jalan melalui sebuah terban yang berarah lebih kurang utara-selatan. Didaerah

yang dialasi batugamping, yaitu dibagian tengah dan selatan berkembang penyaliran bawah tanah.

2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian

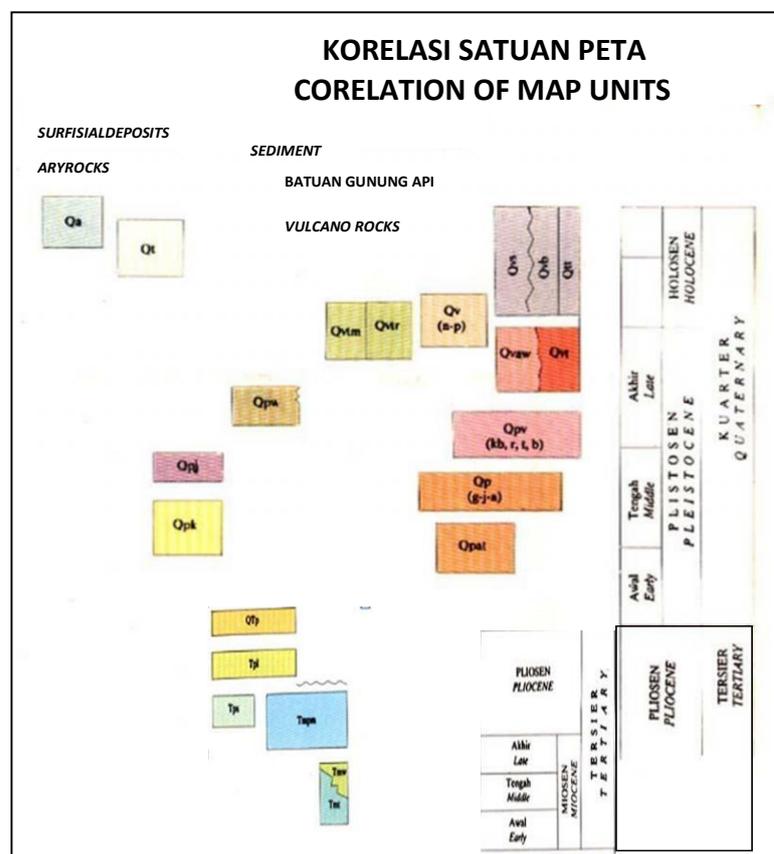
Stratigrafi batuan yang terdapat di daerah Sidoarjo dan sekitarnya dapat dicerminkan oleh stratigrafi sumur eksplorasi minyak dan gas bumi Banjar panji 1 dan Porong, Sidoarjo. Endapan batuan di wilayah ini diawali dengan terbentuknya batu gamping pada zaman Pliosen, kemudian ditutupi secara tidak selaras oleh endapan batu pasir vulkanik Pliosen Atas, batu lempung berwarna kebiru-biruan, selang-seling batupasir dan serpih berumur Plistosen Bawah - Tengah. Kelompok batuan tersebut kemudian yang ditindih secara tidak selaras oleh batuan Gunung Api Notopuro berumur Plistosen Atas dan Aluvial Delta Brantas berumur Resen.

Batu Pasir Vulkanik yang terdapat di sumur Banjar panji-1 ini mempunyai ketebalan sekitar 962 m yang menipis ke arah timur. Lapisan batuan ini adalah endapan batuan vulkanik hasil erupsi gunung api yang berada di sebelah barat atau barat dayanya yang berumur Pliosen Atas dan merupakan hasil orogenesis Plio - Plistosen. Batu Lempung berwarna kebiru-biruan yang menindih di atasnya adalah bagian bawah dari Formasi Pucangan berumur Plistosen Bawah.

Pada zaman Pliosen Bawah terdapat banyak gunung api yang berlokasi di sekitar Surakarta yang masih aktif dan pada saat yang bersamaan di wilayah sebelah timurnya, terdapat aktivitas gunung api lainnya sebagai ujung timur Zona Solo adalah kompleks Gunung Api Wilis Tua dan Anjasmoro Tua. Letusan - letusan dari kompleks gunung api tersebut menghasilkan endapan lahar, aliran piroklastik, dan atau endapan fluvial hasil reworked dari endapan

piroklastika. Lapisan batupasir vulkanik yang terdapat pada wilayah Porong dan sekitarnya merupakan lapisan batuan hasil erupsi gunung api tersebut (Bemmelen, 1949).

Di atas endapan batu pasir vulkanik kemudian diendapkan batu lempung abu-abu kebiruan setebal 1.285 meter yang berumur Plistosen Bawah–Plistosen Tengah. Kemudian satuan batuan tersebut selaras ditutupi oleh selang-seling antar batu lempung dan serpih dari Formasi Pucangan, serta endapan vulkanik Formasi Kabuh pada zaman Plistosen Tengah–Atas dan anggota Jombang dari Formasi Notopuro yang berumur Plistosen Atas. Setelah terbentuknya breksi lahar Jombang, kemudian terjadi pelipatan dan sesaran pada formasi – formasi tersebut. Susunan stratigrafi dari daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Stratigrafi Daerah Porong Sidoarjo

Pada zaman Plistosen Atas aktivitas vulkanik dari Gunung Anjasmoro berpindah pusat aktivitasnya ke arah tenggara dan timurnya membentuk Kompleks Gunung Api, meliputi: Gunung Kawi, Gunung Arjuno, Gunung Penanggungan, dan Gunung Welirang. Sesar Watukosek terbentuk pada saat itu yang menyasarkan formasi- formasi lebih tua yang terdapat di wilayah ini termasuk Formasi Kabuh.

Keberadaan sesar Watukosek di sekitar Porong tertutup oleh endapan Aluvial Delta Brantas. Tetapi di wilayah sebelah selatan terindikasi adanya gawir sesar di Desa Watukosek, rembesan minyak di Desa Carat, dan kelurusan gunung lumpur Karang Anyar, Pulungan, dan Gunung Anyar yang terdapat disekitar Bandara Juanda, Waru, Sidoarjo. Sesar ini menerus ke arah timur laut melewati Selat Madura sampai ke Bangkalan (Pulau Madura) dengan ditemukannya gunung lumpur Geger. Uraian dari Susunan stratigrafi dari daerah penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Stratigrafi Porong Sidoarjo

Qa	Aluvium merupakan endapan sungai (Sungai Porong, Alo, Rejasa) dan endapan pantai (Selat Madura) dengan unsur batuan Krakal, Krikil, Lempung dan Lumpur. Sebagian berupa pasir kasar-halus yang banyak tercampur cangkangmoluska.
Qv (n,p)	Batuan Gunung Api Kwartir Atas terdiri atas Breksi Gunung Api, Lava, Tuf, Breksi Tufan, Konglomerat dan Lahar yang diperkirakan berumur Plistosen Akhir-Holosen, di sekitar Gunung Api Penanggungan, dan Gunung ApiPanderman.

Qvr	Tuf Rabano terdiri dari Tuf Pasiran, Tuf Batu Apung, Breksi Tuf, dan Tuf Halus dan merupakan endapan epiklastik, yang bahannya berasal dari Gunung Api Tengger, Batuan Gunung Api Arjuna Welirang, dan Gunung Api Ringgit yang berumur Plistosen Akhir-Holosen, dan menindih batuan gunungapi yang lebih tua (Formasi Kabuh, dan Formasi Jombang).
Qm	Batuan Gunung Api Tengger terdiri dari Tuf Pasiran, Tuf Batu Apung, Tuf abu, dan Anglomerat yang berumur Plistosen Akhir.
Qvw	Batuan Gunung Api Arjuna-Welirang terdiri atas Breksi Gunung Api (Andesit, Basal, Batu Apung, Mineral terang yang umumnya berkomposisi Feldspar, Piroksen, bervesikular pada permukaan yang membentuk kerak roti, dan berstruktur aliran), Lava, Breksi Tufan (bersifat menengah basal, kurang mampat, mudah terlepas, berkomponen Andesit, basalt, Obsidian, Batu Apung, Porfirin, berstruktur perlapisan bersusun, aliran dengan tebalantara puluhan meter) dan Tuf yang berumur Plistosen Akhir.
Qp (g, j, a)	Batuan Gunung Api Kuartir Bawah terdiri atas Breksi Gunung Api, Tuf Breksi, Lava, Tuf, dan Anglomerat. Batuan gunungapi ini terdiri dari batuan Gunung Api Gendis, batuan Gunung Api Jombang dan batuan Gunung Api Anjasmara Muda. Secara stratigrafi tertindih oleh batuan Gunung Api Kuartir tengah yang lebih muda yaitu Gunung Api Penanggungan, Gunung Api Arjuna-welirang, Gunung Api Tengger, dan Tuf Malang yang diperkirakan berumur Plistosen Tengah.

Qpj	<p>Formasi Jombang terdiri atas Breksi, Batu Pasir Tufan, Batu Lempung Tufan, Lempung, Batu Gamping, dan Tuf. Secara stratigrafi menindih Formasi Kabuh, dan tertindih batuan Gunung Api Kuarter yang terendapkan pada lingkungan darat sampai litoral dengan tebal sekitar 100m dan 250 meter. Formasi ini merupakan lajur Kendeng bagian Barat (Pegunungan Kendeng telah mengalami pelipatan dan pengangkatan sebanyak tiga kali, yaitu pelipatan yang berkaitan dengan <i>collapse</i> yang dialami antiklin Jawa, vulkan-vulkan di Zona Solo, dan pengangkatan karena dorongan magma dari dalam) yang diperkirakan berumur Plistosen Tengah.</p>
Qpk	<p>Formasi Kabuh terdiri atas Batu Pasir Tufan, Batu Lempung Tufan, Batu Pasir Gampingan, Konglomerat, dan Tuf yang termasuk dalam lajur Kendeng Timur yang berfasies laut (Lempung Berfosil, Batuan Pasir Gampingan, dengan tebal 150 m dan 300 m) berangsur ke darat terdiri dari Batuan Sedimen Gunung Api Epiklastik, dan diduga tertindih secara selaras oleh formasi Jombang, dan tidak selaras oleh batuan Gunung Api Kuarter.</p>
Qtp	<p>Formasi Pucangan: Pucangan bawah terdiri dari Batu Pasir, Tufan berlapis, bersisipan Konglomerat, dan Batu Lempung kaya akan fosil moluska; Pucangan atas terdiri dari Batu Pasir, Tufan yang bertekstur perairan, yang berumur Plistosen Awal dan beada pada lajur Kendeng.</p>
Tpi	<p>Formasi Lidah yang terdiri atas Batu Lempung Biru yang bersifat kenyal dan pejal dan eras bila kering, miskin fosil yang berumur</p>

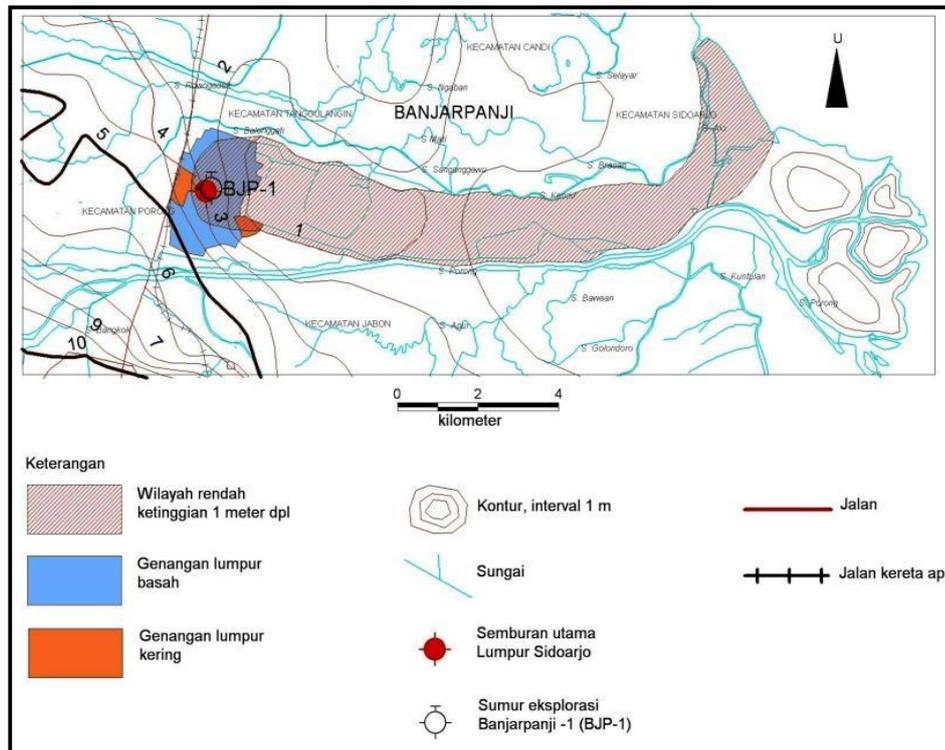
	Pliosen dan termasuk dalam lajur Kendeng.
--	---

Dalam tatanan geologi Jawa Timur, lumpur Porong terdapat di “Cekungan Pengendapan Porong” (Porong Sub-Basin) yang terletak diantara sesar-sesar (patahan) yang sebagian masa aktif, dan merupakan bagian dari Cekungan Sentral (Central Deep) yang mempunyai tatanan geologi dan struktur yang kompleks. Menurut van Bemmelen (1949) data geologi menunjukkan bahwa baik stratigrafi maupun tektonika Zona Kendeng bagian timur yang berada di utara sub-cekungan Porong, masih berada dalam keadaan berevolusi (proses tektonik masih berlangsung) dibandingkan dengan di bagian tengah dan barat).

Menurut Duyfies (1938), juga memperlihatkan bahwa antiklin Gujangan dekat Surabaya dan Pulungan di sebelah selatannya, dipotong oleh sesar transversal, dengan bagian timurnya yang turun. Sesar tersebut merupakan tanda peralihan antara bagian ujung dari Zona Kendeng (yang telah terlipat lemah) yang menjam di Delta Porong dengan Selat Madura yang masih menurun dan diisi oleh sedimen yang belum terlipat. Keadaan tersebut menunjang bahwa proses gerak-gerak tektonik di wilayah cekungan Porong masih berlangsung (Santosa dan Suwanti, 1992).

Semburan utama terletak pada ujung lembah datar sekitar 20 km dari pantai dengan ketinggian sekitar 3 m di atas permukaan laut (dpl). Lembah tersebut mempunyai ketinggian 1-2 mdpl diapit oleh Sungai Balongati dan Sungai Porong yang memanjang ke arah timur sampai ke laut dengan kemiringan sangat landai (0,015%). Ujung lembah tersebut sedikit membelok ke

timur laut karena terhalang oleh delta yang dibentuk oleh Sungai Porong. Secara geomorfologi daerah penelitian diuraikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Peta Geomorfologi Daerah Porong Sidoarjo (Sudarsono dan Sudjarwo, 2008)

2.1.3 Geologi Regional Daerah Penelitian

Dilihat dari aspek geologi wilayah Sidoarjo berada pada daerah yang termasuk ke dalam zona Randublatung yang merupakan zona sempit memanjang sekitar 250 km dan lebar 10 km dari Semarang sampai Surabaya. Secara struktur bawah permukaan zona Randublatung diindikasikan sebagai triangle zone, yakni sebuah zona segitiga yang diapit zona-zona sesar yang saling berlawanan kemiringan dan arahnya.

Kondisi geologi Jawa Timur yang cukup kaya akan potensi sumber daya mineral, sekitar 20 jenis bahan galian yang mendukung sektor industri maupun konstruksi, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi empat lajur, yaitu:

pertama lajur Rembang terbentuk oleh Batu Lempung Napalan dan Batu Gamping merupakan cekungan tempat terakumulasinya minyak dan gas bumi; kedua lajur Kendeng terbentuk Batu Lempung dan Batu Pasir, potensi Lempung, Bentonit, Gamping; ketiga lajur Gunung Api Tengah terbentuk oleh endapan material Gunung Api Kwartir, potensi bahan galian konstruksi berupa Batu Pecah (bom), Krakal, Krikil, Pasir, Tuf, dan keempat lajur pegunungan selatan terbentuk oleh Batu Gamping dengan intrusi batuan Beku dan aliran lava yang mengalami tekanan, untuk potensi mineral terdapat Marmer, Onyx, Batu Gamping, Bentonit dan Pospat.

Di Jawa Tengah dan Jawa Timur, zona Randublatung merupakan wilayah pertemuan dua buah zona besar yakni zona Rembang dan zona Kendeng. Zona Rembang merupakan daerah paparan dan slope yang dicirikan dengan dominasi sesar naik yang mengarah (vergence) ke selatan. Zona Kendeng merupakan slope dan bathyal dengan dominasi sesar naik ke arah utara. Sehingga di daerah pertemuan tersebut terbentuk sebuah zona sangat sempit, memanjang dan sangat dalam yang disebut Zona Randublatung.

Pada Oligo-Miosen zona ini secara isostatik tenggelam untuk mengkompensasi pengangkatan di kedua zona pengapitnya dan menjadi dapur yang baik untuk terakumulasinya hidrokarbon selama ada suplai sedimen yang kaya organik dan diendapkan di dalamnya. Subsided triangle zone memberikan implikasi terhadap pematangan batuan induk dan adanya subthrust structure di bawah zona sesar naik menjadi perangkap yang baik, sedangkan reservoir akan tergantung kepada adanya sedimen berkualitas reservoir dari lingkungan yang lebih dangkal.

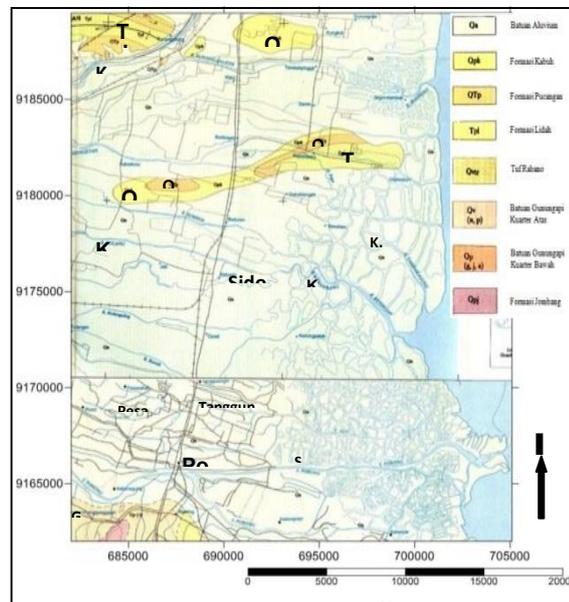
Batu Pasir Kuarsa dari Formasi Kerek dan Merawu yang berumur Miosen Tengah dan sedimen debris kuarsaan dari Formasi Ngrayong berumur Miosen Tengah yang diendapkan ke Zona Randublatung dan Kendeng, sumbernya banyak mengandung Serpih Napalan dan sedimen Calcareous lainnya (Santosa dan Suwarti, 1992).

Dengan tatanan geologi yang demikian menjadikan Zona Randublatung menjadi daerah prospek minyak dan gas dan telah dibuktikan dengan temuan Pertamina di Karbonat Formasi Kujung pada zona ini. Secara stratigrafis pada masa Pleistosen merupakan daerah lingkungan laut, Selat Madura menjorok jauh ke Barat hampir sampai Kota Semarang. Sungai-sungai seperti Bengawan Solo dan sungai lainnya bermuara di Selat Madura purba mengendapkan sedimen seperti pasir dan lumpur sehingga terbentuk delta pada pantainya yang selanjutnya berangsur-angsur terjadi pendangkalan. Akibat pendangkalan tersebut lama kelamaan daratan bertambah ke arah pantai Selat Madura dan terbentuklah daratan seperti yang terlihat saat ini.

Pada peta geologi regional lembar Surabaya dan peta geologi regional lembar Malang yang dikeluarkan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, disebutkan bahwa batuan penyusun daerah kegiatan adalah endapan Aluvial. Beberapa kilometer di selatan Porong didominasi endapan Gunungapi Kuarter dalam sebaran yang luas, dan endapan dari gunungapi yang sampai saat ini masih aktif.

Berdasarkan peta geologi lembar Malang dan lembar Surabaya, Jawa Timur yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun

2007, kondisi Geologi daerah penelitian dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Peta Geologi Porong Sidoarjo (Santoso dan Suwarti, 1992)

2.2 Teori Dasar Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)

Land subsidence didefinisikan sebagai penurunan muka tanah sebagai fungsi dari waktu yang diakibatkan oleh proses alamiah dan aktivitas manusia. Contoh penyebab terjadinya penurunan tanah adalah pengambilan air tanah yang berlebihan (*groundwater over exploitation*), keluarnya gas dan lumpur secara massif dari dalam tanah ke permukaan, penurunan karena beban bangunan diatas permukaan, penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena gaya-gaya tektonik (Doukas, 2004).

Penurunan muka tanah didefinisikan sebagai penurunan tanah relatif terhadap suatu bidang referensi tertentu yang dianggap stabil. Penurunan muka tanah dapat terjadi secara perlahan atau juga terjadi secara mendadak. 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. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah, biasanya terjadi di daerah yang berkapur (Prasetya,2017).

Penurunan tanah dapat terjadi baik secara lokal maupun regional. Kondisi tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor penyebab, antara lain sebagai berikut: (Chinantya,2010).

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan settlement.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas penambangan) (Sudarsono,2008).

2.2.1 Penurunan Tanah (*Land Subsidence*) di Porong,Sidoarjo

Contoh terdekat dan sampai sekarang masih berlangsung terkait deformasi densitas permukaan dan bawah permukaan yang berakibat pada penurunan tanah adalah semburan lumpur Lapindo yang merupakan studi kasus pada penelitian ini. Lokasi semburan lumpur ini berada di Porong, yakni kecamatan di bagian selatan Kabupaten Sidoarjo, sekitar 12 km sebelah selatan kota Sidoarjo. Kecamatan ini berbatasan dengan Kecamatan Gempol (Kabupaten Pasuruan) di sebelah selatan (Hasanudin,2007).

Lokasi tersebut merupakan kawasan pemukiman dan di sekitarnya merupakan salah satu kawasan industri utama di Jawa Timur. Tak jauh dari lokasi semburan terdapat jalan tol Surabaya-Gempol, jalan raya Surabaya-Malang dan Surabaya- Pasuruan-Banyuwangi (jalur pantura timur), serta jalur kereta api lintas timur Surabaya-Malang dan Surabaya-Banyuwangi. Akibat dari semburan lumpur yang terus menerus salah satu dampak yang terjadi adalah turunnya permukaan tanah tiap waktu setiap keluarnya lumpur (Akbar,2015).

Beberapa dampak yang sudah terjadi akibat semburan lumpur terkait penurunan tanah adalah sebagai berikut:

1. Bangunan di Perum TAS I mengalami retak-retak pada tembok dan lantai keramiknya.
2. Akibat turunnya permukaan tanah di sekitar semburan lumpur, pipa air milik PDAM Surabaya yang berada di daerah lumpur tersebut patah.
3. Adanya pemuaian pada rel KA di jalur Siring–Jatirejo hingga mengakibatkan rel melengkung merupakan early warning (peringatan dini) terhadap kondisi lingkungan disekitar kawasan luapan lumpur.

4. Meledaknya pipa gas milik Pertamina di daerah lumpur lapindo. Hal ini disebabkan karena penurunan tanah yang dilanjutkan dengan tekanan lumpur pada pipa yang terendam sekitar 2,5 kilometer (Sumintadireja,2007).

Secara umum informasi tentang karakteristik dan pola *land subsidence* (penurunan tanah) di suatu wilayah akan sangat bermanfaat dalam proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian pembangunan yang berkelanjutan serta peringatan dini sebagai upaya untuk menghindari dampaknya (Handoko,2011).

2.3 Sistem Penginderaan Jauh

Sistem penginderaan jauh dimulai dari perekaman obyek permukaan bumi. Tenaga dalam penginderaan jauh merupakan tenaga penghubung yang membawa data tentang obyek ke sensor dapat berupa bunyi, daya magnetik, gaya berat dan tenaga elektromagnetik. Tenaga elektromagnetik bagi sistem pasif berasal dari matahari, perjalanan tenaga radiasi matahari melalui atmosfer, dan berinteraksi dengan benda di permukaan bumi. Tenaga radiasi matahari tidak semua sampai di permukaan bumi karena sebagian diserap, dihamburkan diatmosfer. Tenagayang sampai ke permukaan bumi sebagian dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi, dan direkam oleh sensor penginderaan jauh. Sensor untuk melakukan perekaman data memerlukan tenaga sebagai medianya. Sensor tersebut dapat dipasang dalam wahana pesawat terbang maupun satelit. Sensor satelit merekam permukaan bumi, dikirimkan ke stasiun penerimaan data di bumi. Stasiun bumi menerima data permukaan bumi dari satelit dan direkam dalam pita

magnetik dalam bentuk digital. Rekaman data diproses di laboratorium pengolahan data hingga berbentuk citra penginderaan jauh, dan didistribusikan ke berbagai pengguna (Purwadhi dan Sanjoto, 2008).

2.4 Radar (*Radio Detection and Ranging*)

Radar (*Radio Detection and Ranging*) adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pekerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh obyek di permukaan bumi, jadi tidak tergantung pada radiasi matahari. Ternyata pada firman Allah SWT sudah dijelaskan bagaimana sistem radar tersebut dalam QS. Saba ayat 10 yang berbunyi:

وَلَقَدْ آتَيْنَا دَاوُودَ مِنَّا فَضْلًا يَا جِبَالُ أَوِّبِي مَعَهُ وَالطَّيْرَ وَالنَّا لَهُ الْحَدِيدَ (١٠)

Artinya : “Dan sungguh telah kami berikan kepada Daud karunia dari kami. (kami berfirman), “wahai gunung-gunung dan burung-burung! Bertasbihlah berulang-ulang bersama Daud, dan kami telah melunakkan besi untuknya”. (QS. Saba : 10) (Al-Qur’an dan Terjemahan, 2008).

Dalam Tafsir Al-Jalalain menyatakan bahwa (Dan sesungguhnya telah Kami berikan kepada Daud karunia dari Kami) sebagai kenabian dan Kitab Zabur. Dan Kami berfirman, ("Hai gunung-gunung! Lakukanlah berulang-ulang) yakni bertasbih berulang-ulang dengan nya (Nabi Daud as). Dibacakan dalam Nashab karena di'athafkan dengan Mahall pada lafal Al Jibaalu memerintahkan kami untuk bertasbih bersamanya (dan Kami telah melunakkan besi untuknya) sehingga besi yang di genggam Nabi Daud seperti adonan roti lunaknya (Jalaluddin Al-Mahali, 2008).

Berdasarkan ayat-ayat di atas merujuk pada sifat-sifat mulia diberikan pada Nabi Daud as dan Sulaiman as . Mereka dianugerahi ilmu oleh Allah SWT. Ilmu ini juga menjadi acuan untuk teknologi radar masa kini, yang bekerja dengan pantulan gelombang elektromagnetik. Kata ”أُوبِي” dalam ayat QS. Saba ayat 10, diterjemahkan “kembali atau pengulangan suara,” mengingatkan gema berbasis teknologi radar. Radar merupakan perangkat yang digunakan untuk menentukan lokasi, kecepatan dan arah benda bergerak atau diam, dan bekerja dengan merefleksikan gelombang mikro.

Penjelasan ayat diatas dapat diperjelas dalam ayat lain seperti dalam QS. Shad ayat 36 sebagai berikut :

فَسَخَّرْنَا لَهُ الرِّيحَ تَجْرِي بِأَمْرِهِ رُخَاءً حَيْثُ أَصَابَ (٣٦)

Artinya : *“Maka Kami menundukkan angin kepadanya untuk berhembus dengan lembut, di mana pun ia diarahkan”*. (QS. Shad : 36)(Al-Qur’an dan Terjemahan, 2008).

Menurut Tafsir Al-Madinah Al-Munawwarah menyatakan bahwa dalam kata فَسَخَّرْنَا لَهُ الرِّيحَ (Kemudian Kami tundukkan kepadanya angin) artinya angin tersebut dijadikan patuh terhadap perintahnya. Lalu dalam kata selanjutnya تَجْرِي بِأَمْرِهِ (yang berhembus ke mana saja yang dikehendaknya) yaitu angin yang memiliki hembusan yang kuat dan cepat tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Kata lain yaitu حَيْثُ أَصَابَ (dengan baik) artinya angin tersebut membawa kebaikan dimanapun (Imam Zuhair Hafidz, 2016).

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.

Prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan dipantulkan kembali oleh obyek di permukaan bumi tersebut. Gelombang pantulan inilah yang direkam oleh sensor dan diolah menjadi citra. Citra dapat terbentuk karena gelombang yang dipantulkan mempunyai intensitas yang berbeda, tergantung dari sudut pantul obyek.

Sistem radar diklasifikasikan menjadi radar untuk pencitraan (*imaging radar*) dan bukan untuk pencitraan (*non imaging*). Suatu pencitraan akan membentuk gambar dari pengamatan obyek atau area. Pencitraan ini biasanya digunakan untuk memetakan bumi, planet-planet lainnya, asteroid, obyek langit lainnya, dan untuk keperluan militer. Sedangkan pada umumnya implementasi suatu sistem *non imaging radar* adalah untuk mengukur kecepatan dan ketinggian, biasa juga disebut *scatterometers* karena sistem ini mengukur sifat pemencaran dari obyek atau area yang diamati.

2.4.1 Citra SAR Kompleks

Citra digital SAR tersusun dalam baris dan kolom yang berisi elemen terkecil suatu objek (pixel). Setiap pixel menunjukkan area terkecil di permukaan bumi yang disebut resolution cell. Setiap pixel memberikan nilai digital number (DN) yang berisi amplitud dan fase yang mencerminkan nilai hamburan dari suatu objek yang dicitrakan radar seperti bangunan, vegetasi bebatuan dan lain-lain. Perbedaan baris citra mencerminkan perbedaan posisi

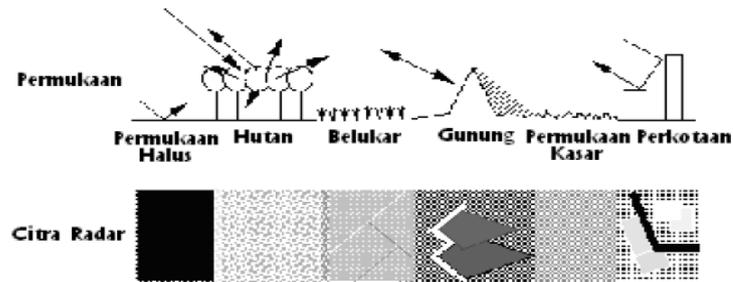
azimuth dan perbedaan kolom mencerminkan perbedaan posisi slant range (Ferretti et al,2007).

Besar kecilnya resolution cell citra SAR pada koordinat azimuth dan slant range berdasarkan karakteristik sistem radar yang digunakan. Contohnya pada kasus ERS, dimensi resolution cell sebesar 5 meter di setiap koordinat azimuth dan 9,5 meter di setiap koordinat slant range.

2.4.2 *Amplitude Citra Radar*

Image pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran amplitude sistem radar. Amplitude menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh transmitter. Semakin kuat hamburan tersebut akan menunjukkan semakin terang area pada citra radar dan semakin lemah hamburan objek akan menunjukkan semakin gelap area pada citra radar.

Saat gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan pada saat gelombang dipancarkan. Kekasaran permukaan obyek dan relief topografi merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap intensitas gelombang pantul tersebut (Sharav, 2003). Apabila permukaan objek radar semakin kasar maka pantulan yang diterima akan menunjukkan semakin terang citra radar dan semakin kuat gelombang pantul yang didapat.

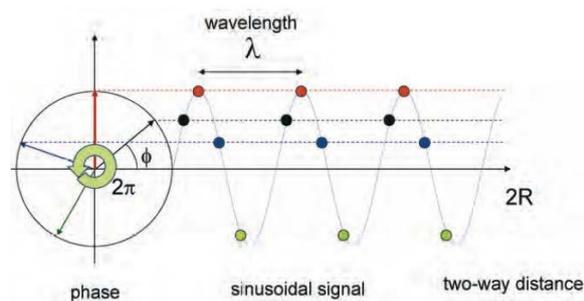


Gambar 2.6 Pencitraan Radar pada Berbagai Permukaan

2.4.3 Phase Citra Radar

Kunci dari teknik interferometri adalah pengukuran phase dari sinyal radar. Phase merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap 2π (Ismullah, 2004).

Pada saat mentransmisikan gelombang elektromagnetik, sistem radar memiliki time delay τ yang menyebabkan perubahan sinyal phase ϕ pada saat diterima kembali oleh receiver. Besar jarak tempuh sinyal pada saat ditransmisikan dan diterima kembali oleh sistem radar sebesar $2R = (R_1 + R_2)$ dengan panjang gelombang elektromagnetik sebesar λ .



Gambar 2.7 Phase Gelombang (Ferretti et al, 2007)

Phase sinyal pantul yang diterima lagi oleh dua sensor dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta\phi = 4\pi \cdot \Delta R / \lambda \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\Delta\phi$ = Beda *phase*

ΔR = Beda jarak tempuh sinyal pada saat ditransmisikan R1 dan diterima radar R2

λ = Panjang gelombang

Jika phase sudah diketahui, maka jarak miring dapat dihitung dengan persamaan (Ismullah, 2004):

$$R = \lambda. (\phi + k) \quad (2.2)$$

Dimana k adalah ambiguitas phase yang sebelumnya harus dicari melalui proses phase unwrapping agar mendapatkan phase yang absolut, melalui:

$$\phi_{abs} = \hat{\phi} + k. 2\pi \quad (2.3)$$

Dimana $\hat{\phi}$ adalah phase relatif.

Phase berhubungan dengan dua jalur sinyal dari radar dan resolution cell. Resolution cell berisi ribuan pantulan objek radar yang memiliki nilai berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tiap objek seperti perbedaan panjang range, tingkat konduktifitas objek yang menghasilkan perbedaan random suatu phase. Akibatnya pixel pada citra radar akan menampilkan noise. Untuk mendapatkan informasi bentuk geometri objek yang baik, maka perlu diminimalisir efek noise dengan mengkombinasikan beberapa citra radar (Massonnet, 1998).

2.4.4 Panjang Gelombang dan Frekuensi

Citra radar yang diperoleh merepresentasikan jumlah energi pantul yang diterima oleh sensor. Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan berpengaruh pada citra yang diperoleh, semakin besar panjang gelombang maka semakin kuat daya tembus medium perantaranya (kanopi, perairan, salju dsb).

Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa band saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi dengan atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombang (Tomiyama, 2010).

Tabel 2.2 Deskripsi Band Pada Radar (Tomiyama, 2010)

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

Band yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya band X, C, L, dan P. Selain band tersebut, biasanya lebih banyak digunakan untuk kepentingan satelit komunikasi baik televisi ataupun penyiaran radio.

2.5 Geometri Pencitraan Radar

Wahana memancarkan sinyal radar, memiliki bentuk geometri pencitraan tersendiri. Berikut ini adalah faktor- faktor geometri pada pencitraan radar, yaitu :

a. Incidence Angle

Merupakan sudut yang dibentuk antara pancaran gelombang radar dengan garis yang tegak lurus terhadap permukaan objek.

b. *Depression Angle*

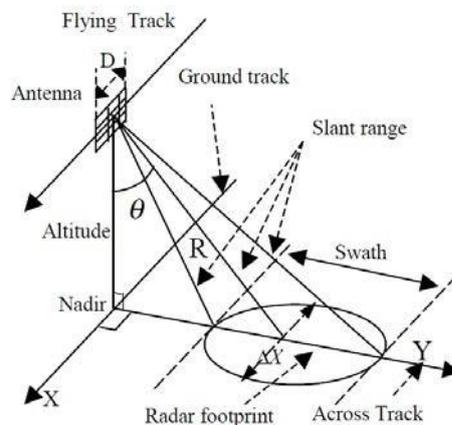
Adalah sudut yang dibentuk dari arah horisontal ke arah garis pancaran gelombang radar.

c. *Look Angle*

Merupakan sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.

d. *Look Direction*

Merupakan arah antenna pada saat melakukan pencitraan.



Gambar 2.8 Geometri Pencitraan Radar

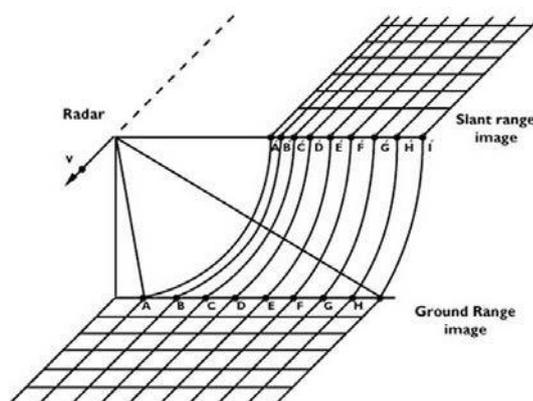
Sistem pencitraan gelombang mikro atau radar dapat menghasilkan gambar resolusi tinggi dari permukaan bumi ialah *synthetic aperture radar (SAR)*. Intensitas dalam *SAR* bergantung jumlah dari hamburan kembalian dari target yang diterima kembali oleh antenna *SAR*. Mekanisme fisik untuk hamburan kembali berbeda untuk gelombang radar dibandingkan dengan radiasi *visible* atau

infrared. Interpretasi dari citra *SAR* membutuhkan pengetahuan sinyal ketika berinteraksi dengan target (Kusman, 2008).

2.6 Pencitraan Radar Pada *Range Direction* dan *Azimuth Direction*

Sistem *remote sensing* aktif (baik dengan menggunakan wahana pesawat terbang maupun satelit), mengarahkan pancaran sinar radarnya dengan cara miring (*side looking*) terhadap garis tegak lurus arah terbang dengan *look angle*, θ . Perpindahan arah terbang satelit disebut dengan *azimuth* atau *along-track direction*. Sedangkan arah dari antena radar saat memancarkan energi (sinyal) frekuensi gelombang *microwave* dan menerima reflektan sinyal (hamburan) objek disebut *slant range* atau *across-track direction* dan proyeksi terhadap di bidang datar disebut *ground range* (Sharav, 2003).

Pada dasarnya *slant range* adalah jarak yang diukur antara antena radar dengan target yang dicitrakan dan *ground range* adalah jarak yang diukur antara arah lintasan platform satelit radar yang tegak lurus dengan objek yang ada dipermukaan bumi (ESA, 2000).



Gambar 2.9 *Slant Range* dan *Ground Range* (ESA, 2000)

Besar proyeksi pulsa-pulsa elektromagnetik yang ditransmisikan ke permukaan bumi akan sebesar jejak pencitraan *footprint* dengan lebar pencitraan yang disebut *swath*. Pulsa-pulsa tersebut juga dipancarkan dengan jarak waktu tertentu, yang disebut dengan *pulse repetition frequency (PRF)* dan kemudian sensor akan menerima kembali pantulan sinyal-sinyal tadi.

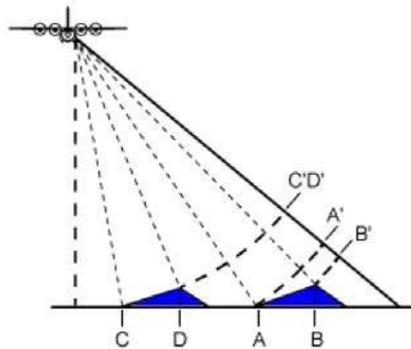
Pada *range direction*, kembalinya sinyal dari pantulan objek dengan jarak yang berbeda dipengaruhi oleh perbedaan waktu tempuh. Pada *azimuth direction*, objek dengan sudut yang berbeda menyebabkan perbedaan *doppler shift*.

2.7 Representasi Perbedaan Topografi Pada Citra Radar

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga menyebabkan distorsi. Beberapa jenis distorsi topografi citra radar, yaitu (ESA, 2000):

a. *Layover*

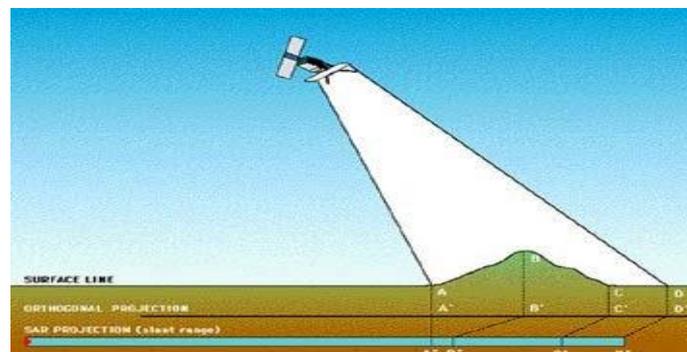
Layover terjadi karena kemiringan topografi lebih besar daripada sudut pantulnya ($\alpha \geq \theta$). Akibat yang ditimbulkan adalah bagian target yang lebih tinggi akan memantulkan energi lebih awal bila dibandingkan dengan pantulan energi dari dasar target. Pada citra radar target yang seharusnya lebih jauh menjadi lebih dekat terhadap sensor. Distorsi ini kemungkinan besar terjadi pada arah *range* terdekat (*near range*).



Gambar 2.10 Geometri *Layover* (ESA, 2000)

b. *Foreshortening*

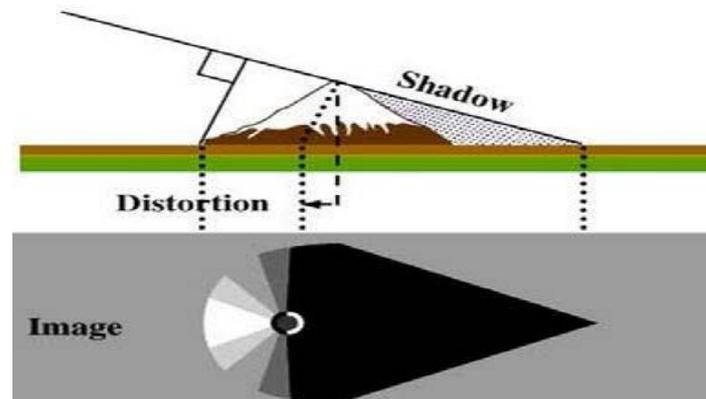
Foreshortening terjadi karena kemiringan topografi berada pada rentang nilai 0 sampai sudut pantul itu sendiri ($0 < |\alpha| < \vartheta$). Akibat dari kondisi ini adalah terjadi kompresi pada *pixel ground range*. Dengan kata lain, *foreshortening* merupakan pemendekan pada proyeksi target (*slant range*) di citra radar dibandingkan arah *ground range*.



Gambar 2.11 Geometri *Foreshortening* (ESA, 2002)

c. *Shadow*

Shadow terjadi karena kemiringan topografi α lebih besar dari sudut pantul dikurangi $\pi/2$ ($\alpha \leq \vartheta - \pi/2$). Akibat dari kondisi ini adalah permukaan yang tidak terkena pancaran energi dari sensor karena terhalang oleh obyek lain, sehingga akan tampak sebagai daerah yang hitam karena tidak ada energi pantul yang diterima oleh sensor.



Gambar 2.12 Geometri *Shadow* (ESA, 2000)

2.8 Prinsip Pencitraan *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

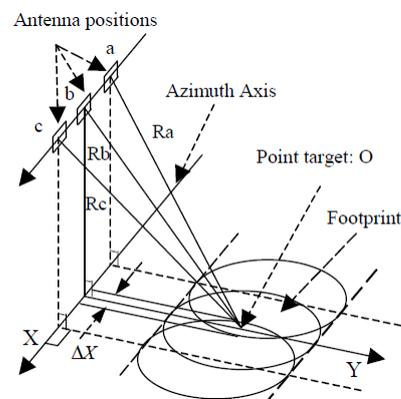
Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari. *SAR* dapat digunakan pada siang maupun malam hari pada segala jenis kondisi cuaca, hal ini dikarenakan sistem *SAR* menggunakan gelombang radio (*microwave*) untuk pengamatan permukaan bumi (Hansenn, 2001).

Pada prinsipnya, *SAR* menggunakan prinsip dopler terutama dari gema radar yang dihasilkan dari putaran suatu benda di depan satelit untuk mensintesis sebuah antena besar. Hal ini memberikan hasil ketelitian tinggi dari resolusi *azimuth* pada citranya dengan ukuran antena yang kecil.

Pada Gambar 2.14 di bawah adalah dengan mengansumsikan panjang antena sebesar L_a yang bergerak dari titik "a" ke titik "b" kemudian ke titik "c" dengan memancarkan dan menerima reflektan dari objek O akan didapat perbedaan *slant range* yaitu, R_a ke R_b kemudian R_c . Dapat disimpulkan bahwa $R_a > R_b$ dan $R_b > R_c$. Jarak R_a adalah jarak *slant range* pada saat antena radar

semakin mendekati objek O , sampai *slant range* berada pada jarak terpendek sebesar R_b , kemudian antenna akan terus bergerak menjauhi objek O dengan *slant range* sebesar R_c . Perbedaan *slant range* karena adanya pergeseran frekuensi (*frequency shift*) dari reflektan sinyal (hamburan) dari titik O . Antena L_a akan bergerak selanjang lintasan, gelombang tidak akan terdeteksi secara bersamaan.

Dengan menggunakan Prinsip Doppler, hasil citra untuk setiap obyek akan berbeda tanpa memiliki antenna yang panjang karena pada saat wahana bergerak melewati obyek, obyek akan terekam dengan frekuensi yang berbeda-beda dengan selang waktu tertentu dan hasil yang penting adalah resolusi *azimuth* pada sistem *SAR* tidak tergantung pada jarak antenna ke permukaan dan dengan antenna yang lebih kecil akan memberikan resolusi yang lebih baik.



Gambar 2.13 Geometri Pencitraan Sistem *SAR*

Resolusi *SAR* dibagi menjadi 2 hal, yaitu sebagai berikut (ESA, 2000):

a. Range Resolution

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwidth* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin lebar pada *bandwidth* maka resolusi range akan lebih baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek, secara matematis dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\Delta R_{slantrange} = c/(2 \times B) \quad (2.7)$$

Keterangan :

$\Delta R_{slantrange}$ = Resolusi *slant range*

c = Pancaran pulsa gelombang

B = *Bandwith*

b. *Azimuth Resolution*

Prinsip pengukuran radar bergantung dari penggunaan radiasi koherennya, bersama dengan informasi yang diterima dari suatu titik dari pulsa radar tersebut. Untuk sebuah pengamat yang ber-platform dan berpindah-pindah, sehingga jarak dari radar ke target juga secara kontinyu berubah, menyebabkan *phase* dari pantulan sinyal berubah sesuai dengan hukum yang diberikan oleh observasi geometri, sehingga batas efeknya sebanding dengan sinyal yang diterima secara terus-menerus oleh antenna dengan panjang tidak lebih dari panjang dari sinyal radar yang direkam.

Dengan cara ini antenna sintesis dapat mengatasi tingkat elemen radiasi bebas, dimana dipisahkan sejak pengulangan pulsa frekuensi dan kecepatan platform. Perubahan *phase* berhubungan dengan waktu frekuensi angular Doppler, serta resolusi *azimuth* ditentukan oleh *bandwith* Doppler dari sinyal yang diterima. Rumus resolusi azimuth-nya menjadi (Usai, 2001):

$$\Delta R_a = L_a/2 \quad (2.8)$$

Keterangan :

ΔR_a = Resolusi *azimuth*

L_a = Panjang antena radar

2.9 Kualitas Interferogram

2.9.1 Koherensi Citra SAR

Selain *phase*, koherensi (korelasi) antara kedua citra juga harus diperhitungkan. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Nilai koherensi dapat dinyatakan pada persamaan (Usai, 2001):

$$\gamma = \frac{\sum c_1 c_2}{\sqrt{\sum |c_1|^2 \sum |c_2|^2}} \quad (2.17)$$

Keterangan :

γ = Nilai koherensi interferogram

c = Koefisien kompleks citra ke-1 dan ke-2

Besar koherensi citra 0 sampai 1. Apabila nilai koherensi 0 mengindikasikan noise, tidak terdapat kecocokan antar citra sehingga tidak ada informasi yang berarti pada interferogram. Apabila nilai koherensi 1 mengindikasikan tidak adanya noise dan kedua citra memiliki kesesuaian maksimum. Namun faktanya, nilai koherensi yang didapat antara $0 < \gamma < 1$. Nilai 0 pada umumnya memiliki warna hitam sedangkan koherensi 1 memiliki warna putih. Akan tetapi, untuk keperluan tertentu warna dari masing-masing koherensi dapat dimodifikasi dengan tidak mengubah informasi besar koherensi citra sesuai kebutuhan.

2.9.2 Sumber Penurunan Koherensi

Nilai koherensi γ merupakan total dari korelasi yang mempengaruhinya, secara mudah diformulasikan sebagai berikut (Hanssen, 2001):

$$\gamma_{\text{total}} = \gamma_{\text{geom}} \times \gamma_{\text{Suhu}} \times \gamma_{\text{waktu}} \times \gamma_{\text{DC}} \times \gamma_{\text{pengolahan}} \quad (2.18)$$

Keterangan:

γ_{total}	= Dekorelasi keseluruhan
γ_{geom}	= Dekorelasi geometrik
γ_{suhu}	= Dekorelasi suhu
γ_{waktu}	= Dekorelasi waktu
γ_{DC}	= Dekorelasi <i>doppler centroid</i>
$\gamma_{\text{pengolahan}}$	= Dekorelasi pengolahan data <i>SAR</i>

a. Dekorelasi Geometrik (*Geometric Decorrelation*)

Jika *baseline* terlalu panjang, penjumlahan koheren radiasi dari gelombang pantul akan sangat berbeda sehingga memberikan kesalahan informasi tinggi topografi dan besar pergerakan objek. Koherensi akan hilang sama sekali apabila panjang *baseline*-nya melebihi dari panjang *baseline perpendicular*-nya (B_{\perp}). Dekorelasi geometrik dinyatakan dengan persamaan:

$$\gamma_{\text{geom}} = 1 - [2|B| \cdot \Delta R_{\text{groundrange}} \cdot (\cos\theta)^2 / \lambda \cdot R] \quad (2.19)$$

Keterangan :

γ_{geom}	= Dekorelasi <i>geometric</i>
$\Delta R_{\text{groundrange}}$	= Resolusi <i>ground range</i>
R	= <i>Slant range</i>
B	= <i>Baseline</i>

b. Dekorelasi Suhu (*Thermal Decorrelation*)

Pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai *Signal Noise to Ratio (SNR)* yang ada. *SNR* merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana

ukuran panas tersebut terjadi antara lain karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang di terima oleh antena. Gangguan ini merupakan hal yang terjadi di luar sistem radar. Dekorelasi digambarkan dalam persamaan:

$$\gamma_{\text{suhu}} = 1 / (1 + \text{SNR}^{-1}) \quad (2.20)$$

Keterangan :

γ_{suhu} = Dekorelasi *thermal*

SNR = *Signal Noise to Ratio*

c. Dekorelasi waktu (*Temporal Decorrelation*)

Pencitraan dengan proses interferometri dengan wahana satelit menggunakan metode repeat pass akan terjadi perbedaan waktu. Berbeda dengan wahana yang menggunakan pesawat udara dengan 2 antena, penginderaan dilakukan pada saat yang sama tanpa pengaruh beda waktu.

Contoh dekorelasi yang disebabkan oleh perbedaan waktu:

1. Permukaan air. Akibat permukaan air yang selalu bergerak maka posisi objek pencitraan pertama tidak sama dengan pencitraan kedua.
2. Tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan merupakan makhluk hidup yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dan juga selalu bergerak akibat adanya angin, sehingga kondisi tumbuhan disaat pencitraan pertama tidak selalu sama dengan kondisi tumbuhan disaat pencitraan berikutnya.
3. Erosi. Perubahan bentuk permukaan tanah yang diakibatkan oleh erosi akan menyebabkan dekorelasi pada citra utama dan kedua.

4. Aktifitas manusia. Aktifitas manusia yang menyebabkan perubahan kondisi bentuk permukaan bumi dapat menyebabkan dekorelasi citra utama dengan citra kedua.

d. Dekorelasi Orbit (*Orbit Decorrelation*)

Satelit bergerak pada lintasannya yang disebut orbit. Perubahan orbit pada waktu melakukan pencitraan pertama dengan orbit pada pencitraan kedua menyebabkan ketidaksesuaian diantaranya. Hal-hal yang mempengaruhi gerakan satelit diantaranya medan gravitasi bumi, matahari, bulan, dan planet-planet lainnya.

e. Dekorelasi pusat doppler (*Centroid Doppler Decorrelation*)

Perbedaan frekuensi pusat Doppler diantara kedua pencitraan (Δf_D) akan mengakibatkan terjadinya dekorelasi pada arah *azimuth*. Peningkatan perbedaan frekuensi Doppler tersebut akan mengakibatkan menurunnya koherensi.

$$|\gamma_{DC}| = \begin{cases} 1 - \frac{\Delta f_{DC}}{B_r} & |\Delta f_{DC}| < B_A \\ 0 & |\Delta f_{DC}| > B_A \end{cases} \quad (2.21)$$

Keterangan:

B_r = Lebar pita dalam arah *azimuth*.

Δf_{DC} = Perbedaan frekuensi *Doppler Centroid*

B_A = Panjang *baseline* pada titik A

2.10 *Differential Interferometry SAR (DInSAR)*

Differential interferometry 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):

$$\Delta\phi = \phi_{\text{topografi}} + \phi_{\text{deformasi}} + \phi_{\text{atmosfer}} + \phi_{\text{noise}} \quad (2.22)$$

Keterangan :

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

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

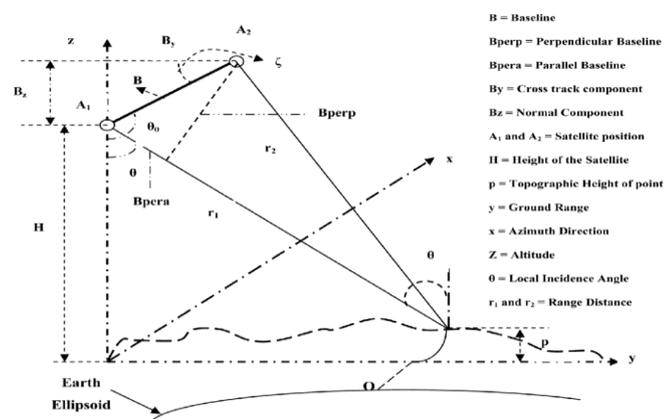
a. Metode *two-pass interferometry*

Metode ini menggunakan model elevasi (DEM) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, diskalakan 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 2.11 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 2.14 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).

2.11 Sentinel 1

ESA Sentinel akan menjadi seri pertama dari operasi satelit yang bertemu dengan pengamatan bumi oleh *EU (European Union)ESA Global Monitoring for Environment and Security Programme (GMES)*. Sentinel-1 merupakan produk pertama dari *ESA Sentinel*.

ESA mengembangkan Sentinel-1 *European Radar Observatory*, yang memiliki sistem orbit pada kutub untuk aplikasi *SAR*. Kumpulan dari dua satelit radar band-C akan menyediakan secara kontinyu citra pada siang/malam hari untuk layanan pengguna, terutama yang diidentifikasi dalam layanan *GMES ESA* pada proyek yang danaan oleh *EU Framework Programmes*.

Satelit Sentinel-1 dibangun oleh *industrial consortium* yang diketuai oleh *Thales Alenia Space Italy* sebagai kontraktor utama, dengan *Astrium Germany* yang bertanggung jawab untuk band-C. Satelit didasarkan pada *PRIMA (Piattaforma Italiana Multi Applicativa)* dengan misi khusus modul payload.

Sentinel-1 memiliki 4 mode standar operasional yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya :

1. Mode *Strip Map*, *swath* 80 km dan resolusi spasial 5x5 m.
2. *Interferometric Wide Swath Mode*, *swath* 250 km, resolusi spasial 5 x 20 m, dan sinkronisasi *interferometry*.
3. *Extra-Wide Swath Mode*, *swath* 400 km dan resolusi spasial 25 x 100 m (3-looks).
4. *Wave Mode*, *low data rate* dan resolusi spasial 5 x 20 m. Contoh gambar pada 20 x 20 km pada interval 100 km sepanjang orbit.

Untuk *wave mode*, Sentinel-1 memiliki *single polarisation* (VV / HH) dan untuk mode lainnya memiliki dual polarisation (VV+VH atau HH+HV). Sentinel-1 didesain untuk aplikasi pada resolusi medium pada mode utama : *wide swath* (250 km) dan medium resolusi (5 x 20 m) (ESA,2013).

2.12 *Software SNAP*

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.

2.13 Software QGIS

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 nirlpemerintah 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 (Budyanto, 2016).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret- Selesai. Pengolahan data dilakukan di Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah (PTPSW)–BPPT, Gedung 820 Geostech, Jl. Kw. Puspiptek, Muncul, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 1531

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Perangkat Keras (*hardware*) yang dibutuhkan pada penelitian adalah :
 - a. Laptop ASUS K43SD dengan Processor Intel® Core™ i3-2350M CPU @2.30 GHz (4CPUs), RAM 6 Gb, OS Windows 10 Pro 64-bit.
 - 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.
2. Perangkat Lunak (*Software*) yang dibutuhkan pada penelitian adalah:
 - a. Microsoft Office 2016
 - b. Google Earth Pro
 - c. *SNAP*
 - d. *QGIS 3.20*
3. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :
 - a. Citra Sentinel 1A IW SLC Level 1 pada tahun 2014-2020.
 - b. DEM SRTM 1sec dengan resolusi spasial 30m.
 - c. Peta administrasi wilayah Kab.Sidoarjo.

- d. Data Jumlah penduduk per kecamatan di wilayah Kab.Sidoarjo pada tahun 2014-2020.
- e. Peta Geologi Lembar Surabaya, Sapulu.

3.3 Jenis Data

Dalam Penelitian ini data citra satelit Sentinel IA Level 1 dapat diunduh di Alaska Satelit Facility atau laman <https://search.asf.alaska.edu/#/> dan di ambil dalam periode dari 2014-2020.

Tabel 3.1 Citra SAR yang Digunakan Pada Tahun 2014-2020

Tanggal Akuisisi	Level	Mode Akuisisi	Polarisasi	Sudut Pandang
21 Oktober 2014	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
20 Desember 2014	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
06 Februari 2015	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
14 Maret 2015	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
20 Januari 2016	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
21 Desember 2016	1	IW	VV	<i>Ascending</i>
15 Maret 2017	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
28 Desember 2017	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
09 Januari 2018	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
23 Desember 2018	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
04 Januari 2019	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
30 Desember 2019	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
11 Januari 2020	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>

24 Desember 2020	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>
------------------	---	----	-------	------------------

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi pengumpulan data, *pre-processing data*, *processing data* dan interpretasi citra yang diperoleh dari hasil pengolahan data citra sentinel 1. Hasil data citra sentinel 1 yang diperoleh dibandingkan dengan data literatur pengambilan data menggunakan citra ALOS PALSAR pada tahun sebelumnya dan peta administrasi serta data penduduk kab. Sidoarjo tahun 2014-2020.

3.4.1 Tahap Pengumpulan Data

Data citra yang digunakan pada penelitian ini yaitu citra sentinel-1A dengan format Interferometry Wide Swath (IW) data level 1 SLC yang diakuisisi mulai tanggal 21 Oktober 2014 s/d 24 Desember 2020. SLC merupakan data yang telah terfokuskan, terdeteksi geo-referensi menggunakan data orbit dan ketinggian dari satelit, dan tersedia pada *slant range geometry*. Format IW merupakan akuisisi utama diatas tanah. Mode ini mengakuisisi 3 sub-petak dengan menggunakan *Terrain Observation with Progressive Scan SAR (TOPSAR)*. Mode *TOPSAR* berfungsi untuk menggantikan mode scan *SAR* konvensional dengan cakupan dan resolusi yang sama akan tetapi rasio noise menjadi kecil. Teknologi ini memiliki kelebihan yang dapat menghasilkan kualitas gambar yang homogen dengan gangguan yang dapat di minimalisir *Signal to Noise Ratio (SNR)* hampir sama (Emiyati dkk, 2016).

3.4.2 Tahap *Pre-Processing Data*

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data radar Sentinel IA pada tahun 2014-2020 yang diunduh di laman Alaska Satellite Facility. Data citra yang diunduh harus sesuai dengan waktu *baselinetemporal* agar mendapatkan nilai koherensi yang tinggi. Tahapan tersebut sudah didapat otomatis pada penyedia data.

Data yang digunakan untuk menginterpretasikan penurunan permukaan tanah yaitu data citra Sentinel-1A dengan format IW dengan data level 1 SLC sebanyak 7 pasang citra.

3.4.3 Tahap *Processing Data*

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 satelit 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 *back-geocoding* dengan DEM SRTM dengan metode *resampling bilinear interpolation* dengan resolusi 30m 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 Porong, Sidoarjo. 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. 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 Tahap Interpretasi Citra

Berikut adalah tahap interpretasi citra adalah sebagai berikut (Indarto, 2014) :

1. Interpretasi Secara Digital

Interpretasi secara digital merupakan evaluasi kuantitatif tentang informasi spektral yang disajikan pada citra. Analisis digital dapat dilakukan melalui pengenalan pola spektral dengan bantuan computer. Dasar interpretasi ini berupa klasifikasi piksel berdasarkan nilai spektral dan dapat dilakukan dengan cara statistik.

Dalam penelitian ini teknik interpretasi yang digunakan adalah interpretasi secara manual atau visual. Dengan interpretasi manual mampu didapatkan penafsiran objek yang sesuai dengan yang diharapkan baik itu jenis maupun letak objek secara relatif. Pada interpretasi secara manual sangat kecil kemungkinan terjadi kesalahan penafsiran yang perbedaannya terlalu jauh. Meskipun demikian interpretasi secara manual memakan waktu yang lama jika dibandingkan dengan interpretasi secara digital yang secara otomatis dilakukan oleh komputer.

Interpretasi citra merupakan kegiatan mengkaji citra dengan tujuan untuk mengidentifikasi obyek serta menilai arti penting obyek tersebut. Pada tahap interpretasi citra diperlukan unsur-unsur interpretasi yang meliputi rona atau warna, ukuran, bentuk, tekstur, pola, bayangan, situs serta asosiasi. Untuk lebih jelasnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Rona atau warna

Rona yaitu tingkat kegelapan dan kecerahan obyek pada citra. Obyek yang mempunyai permukaan kasar, lembab atau basah akan nampak dengan warna gelap, demikian pula dengan obyek yang berwarna gelap cenderung mempunyai daya pantul rendah sehingga ronanya akan terlihat gelap.

b. Bentuk

Bentuk merupakan variabel kualitatif yang memberikan konfigurasi kenampakan suatu obyek. Bentuk ini merupakan atribut yang jelas sehingga kenampakan suatu obyek dapat dikenali dari bentuknya saja.

c. Ukuran

Ukuran merupakan atribut obyek yang berupa jarak, luas, tinggi, lereng dan volume. Ukuran obyek pada citra merupakan fungsi skala sehingga pada saat melakukan interpretasi perlu juga memperhatikan skala citra yang digunakan.

d. Tekstur

Tekstur merupakan frekuensi perubahan rona pada citra atau suatu agregat kenampakan seragam yang terlalu kecil untuk dibedakan dengan tegas secara individual. Tekstur akan tampak pada citra sebagai perbedaan rona pada obyek yang sama atau hampir sama. Sebagai contoh tanah kosong berumput akan tampak halus dan padang belukar akan tampak kasar.

e. Pola

Pola adalah susunan keruangan suatu obyek dan biasanya sebagai perulangan adalah hal bentuk dan ukuran, yang dibedakan pada keteraturannya. Pola merupakan atribut yang jelas sehingga banyak obyek yang dapat dikenali berdasarkan polanya seperti gedung sekolah yang berpola huruf L, I, atau U.

f. Bayangan

Bayangan merupakan rona gelap yang disebabkan oleh terhalangnya cahaya oleh obyek dengan bentuk siluet yang sama dengan obyek yang menghalanginya.

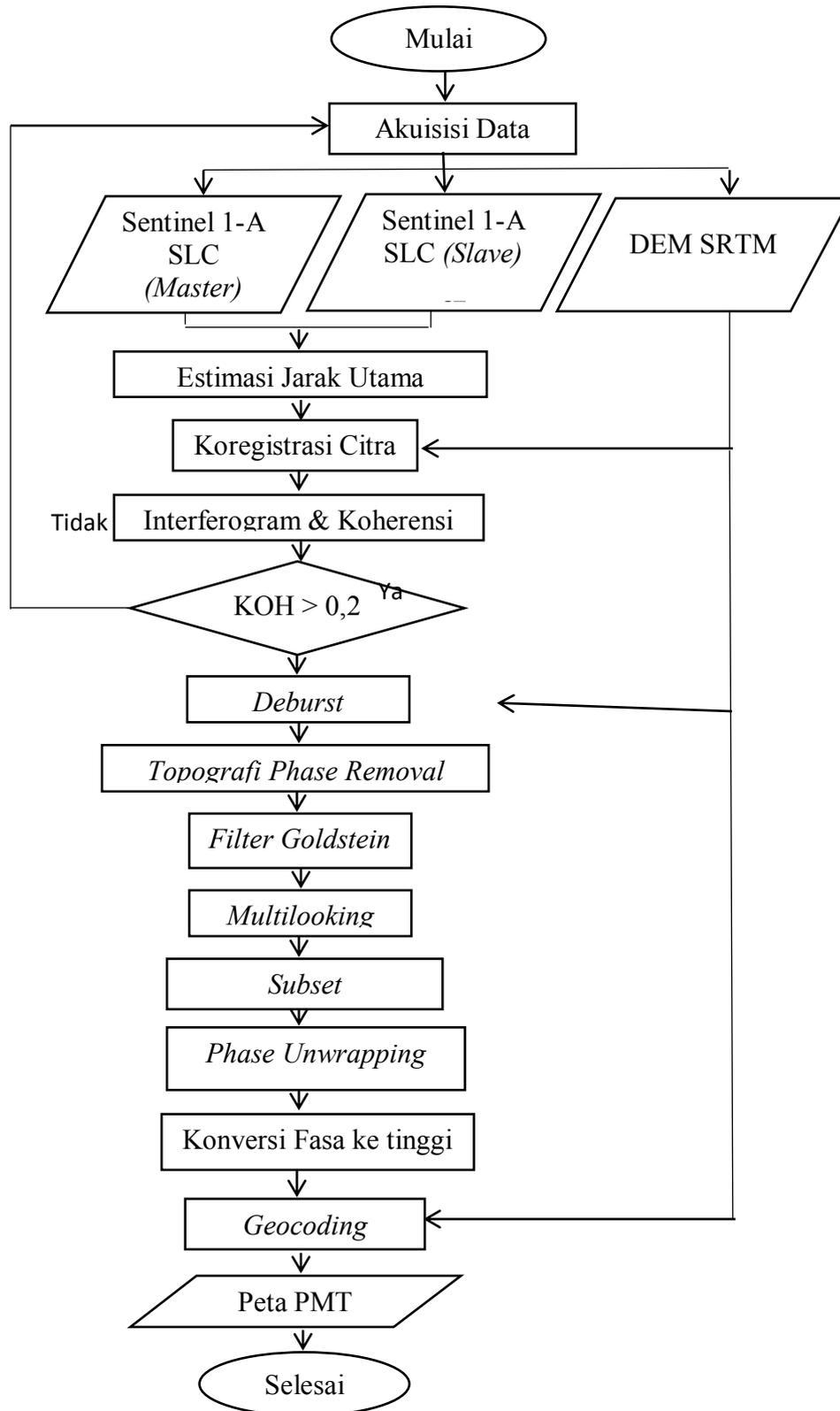
g. Situs

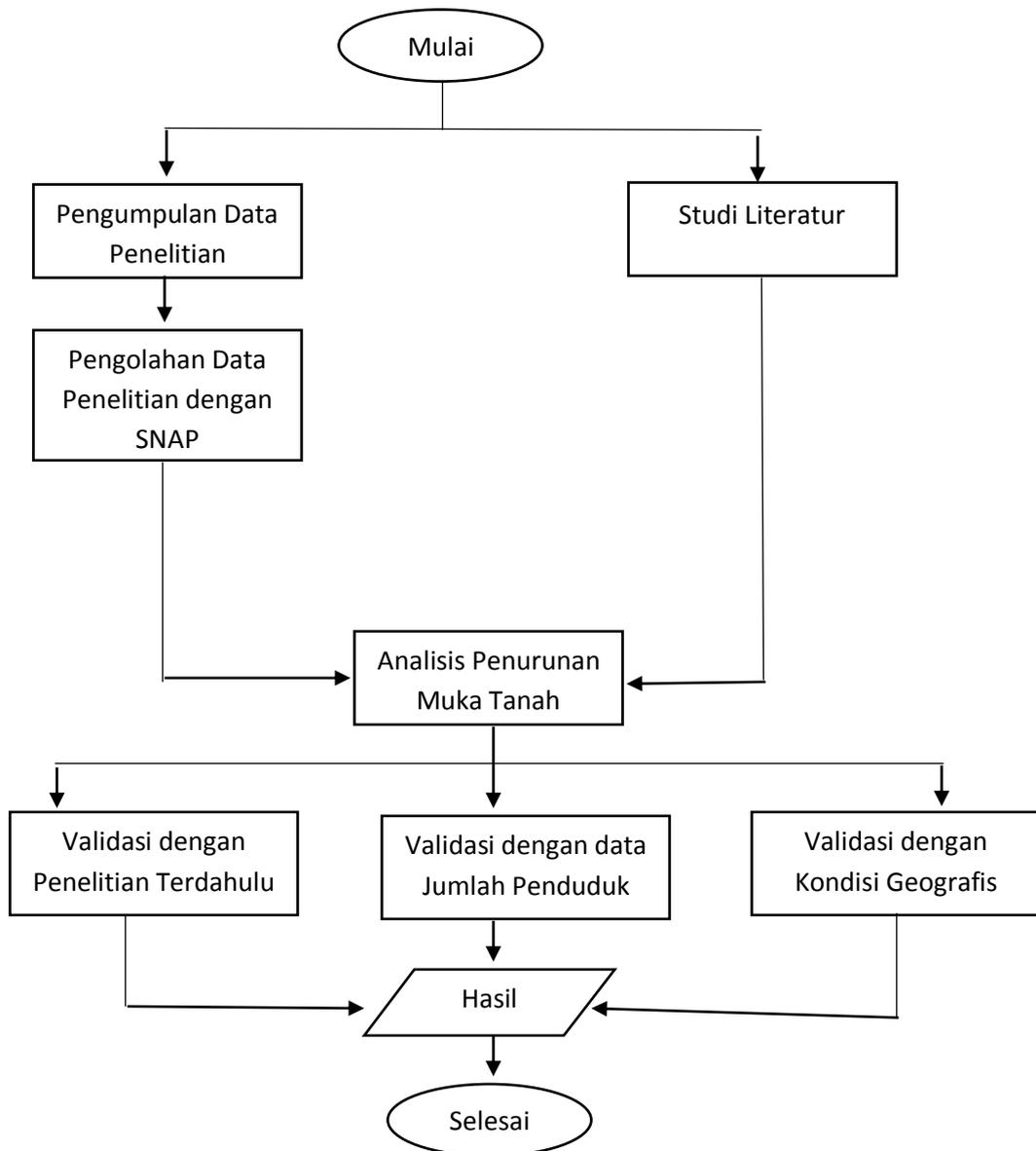
Situs ini bukan merupakan ciri obyek secara langsung melainkan dalam kaitannya dengan lingkungan sekitarnya. Situs diartikan sebagai letak atau obyek terhadap obyek lainnya.

h. Asosiasi

Asosiasi dapat diartikan sebagai keterkaitan antara obyek yang satu dengan yang lainnya. Karena adanya keterkaitan ini maka suatu obyek pada citra sering merupakan petunjuk bagi lainnya seperti gedung sekolah di samping bentuknya menyerupai huruf L, I, atau U juga di asosiasikan dengan adanya lapangan olahraga. Diagram Alir

3.5 Diagram Alir

Gambar 3.1 Diagram Alir *Processing Data*



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

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

4.1 Hasil *Pre-Processing* Data

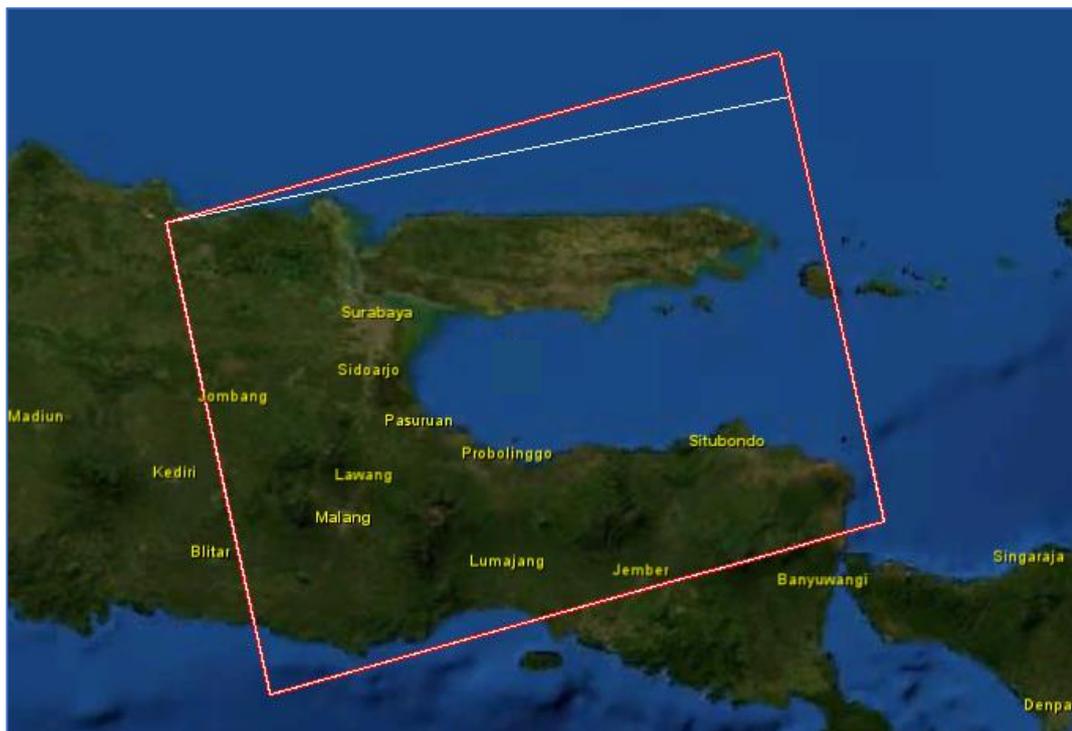
Proses awal yang dilakukan terhadap data citra satelit Sentinel-1 adalah proses *pre-processing* yang dilakukan di SNAP. Proses ini dilakukan terhadap semua citra satelit Sentinel-1 dengan tanggal perekaman data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Orbit Citra SAR

ID_Scene	Tanggal Akuisisi	Level	Mode Akuisisi	Polarisasi	Sudut Pandang	Jenis Data
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20141021T104921_ 20141021T104951	21 Oktober 2014	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20141220T104920_ 20141220T104950	20 Desember 2014	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20150206T104918_ 20150206T104948	06 Februari 2015	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20150314T104919_ 20150314T104949	14 Maret 2015	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20160120T104947_ 20160120T105006	20 Januari 2016	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC__1SSV_ 20161221T104958_ 20161221T105017	21 Desember 2016	1	IW	VV	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_SLC__1SDV_ 20170315T104941_ 20170315T105009	15 Maret 2017	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC__1SDV_ 20171228T104949_ 20171228T105017	28 Desember 2017	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_SLC__1SDV_ 20180109T104949_ 20180109T105017	09 Januari 2018	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC__1SDV_	23	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Slave

20181223T104956_ 20181223T105024	Desember 2018					
S1A_IW_SLC_1SDV_ 20190104T104956_ 20190104T105024	04 Januari 2019	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC_1SDV_ 20191230T105002_ 20191230T105030	30 Desember 2019	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Slave
S1A_IW_SLC_1SDV_ 20200111T105002_ 20200111T105030	11 Januari 2020	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Master
S1A_IW_SLC_1SDV_ 20201224T105009_ 20201224T105037	24 Desember 2020	1	IW	VV+VH	<i>Ascending</i>	Slave

Pada tahap ini dilakukan proses pencocokan antara dua pasang citra karena ketika gelombang mengenai permukaan bumi, maka energy akan diterima balik oleh sensor. Semakin cocok antara citra 1 dan citra 2, maka sinyal balik yang diterima memiliki kualitas yang baik dan informasi lebih banyak. Tahap pertama yaitu Estimasi Jarak Utama yaitu melihat apakah dua pasang citra tersebut saling tumpang tindih satu sama lain atau tidak, jika iya maka dapat dilanjut ketahap berikutnya jika tidak maka kembali ke akuisisi data dapat dilihat pada gambar 4.1.



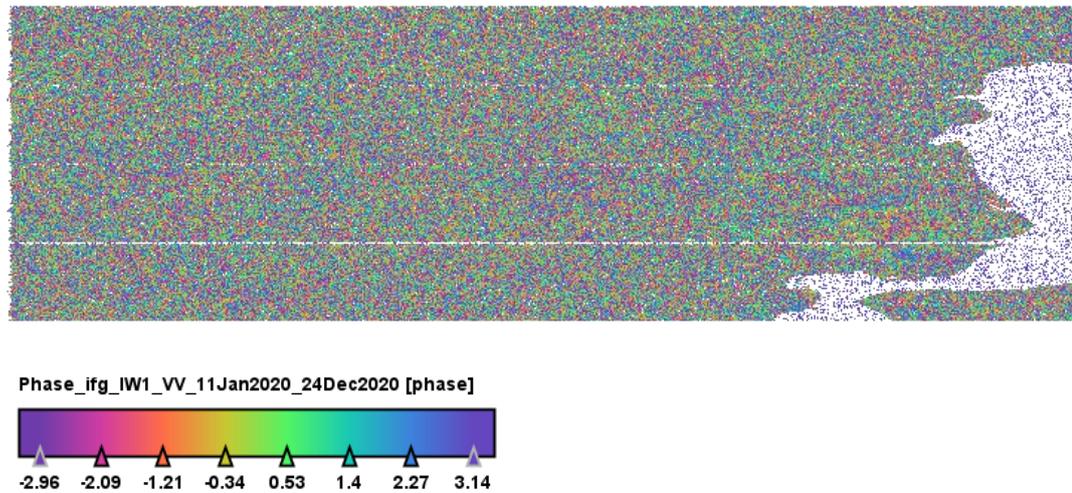
Gambar 4.1 Estimasi Jarak Utama dari Pasangan Citra master (11 Januari 2020) dan Slave(24 Desember 2020)

Setelah didapatkan pasangan citra yang saling tumpang tindih maka tahap selanjutnya yaitu koregistrasi citra yang dilakukan untuk menyatukan antar citra master dan slave. Citra yang didapatkan memiliki tiga sub swath (IW1, IW2 dan IW3). Setiap sub-swath terdiri dari 10 burst. Pada penelitian ini wilayah Kab. Sidoarjo berada pada IW1 dan dipilih 5 burst pada masing-masing pasangan citra seperti pada gambar 4.2. Pemilihan sub swath dan burst dilakukan sesuai dengan daerah penelitian. Dalam tahap ini juga dilakukan proses koreksi orbit dengan sentinel precise dengan DEM SRTM 3 sec dengan 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).

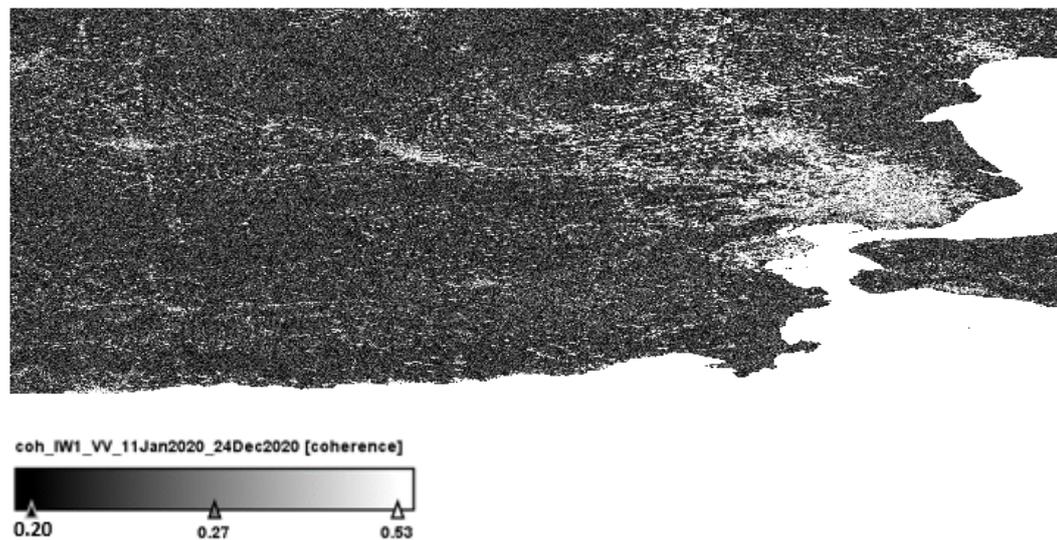


Gambar 4.2 Hasil Koregistrasi Citra dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)

Tahapan selanjutnya adalah pembentukan interferogram dan koherensi. Kedua citra tersebut diproses sehingga membentuk interferogram yang didalamnya berisi informasi phase dan amplitude. Pada Gambar 4.3 merupakan interferogram dari pasangan citra yang masih mengandung efek topografi dan deformasi. Semakin kecil nilai koherensi maka semakin rendah tingkat kecocokan antar pasangan citra. Apabila nilai koherensi sudah lebih dari 0,2 maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya jika kurang dari 0,2 maka kembali ke proses akuisisi data. Gambar 4.4 menunjukkan nilai koherensi 0.53 maka dapat dilanjutkan ke tahap processing data. Pada gambar 4.4 wilayah yang menunjukkan warna putih merupakan objek kasar, sedangkan wilayah yang berwarna hitam menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus. Menurut Febrianti (2017), objek dengan permukaan kasar akan memantulkan hamburan yang kuat sehingga menghasilkan warna terang pada citra radar. Lemah hamburan yang dihasilkan oleh objek maka semakin gelap wilayah pada citra radar. Objek tersebut menunjukkan permukaan rata atau halus.



Gambar 4.3 Interferogram Phase dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)



Gambar 4.4 Nilai Koherensi dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)

4.2 Hasil *Processing Data*

Terjadinya fenomena land subsidence di kota-kota besar Indonesia, seperti di Jakarta, Semarang, dan Surabaya telah telah berdampak negatif terhadap perkembangan aktivitas masyarakat. Untuk *Land Subsidence* di Kab. Sidoarjo sekitar Lumpur Lapindo Berdasarkan hasil metode *DInSAR* menunjukan deformasi vertikal yang terjadi di sekitar wilayah semburan bervariasi, di beberapa

lokasi mengalami *subsidence*. Rata-rata besar penurunan tanah yang terjadi antara 2008-2011 yaitu antara 0-20 cm/tahun (Sendy Ayu Yulyta dkk, 2015).

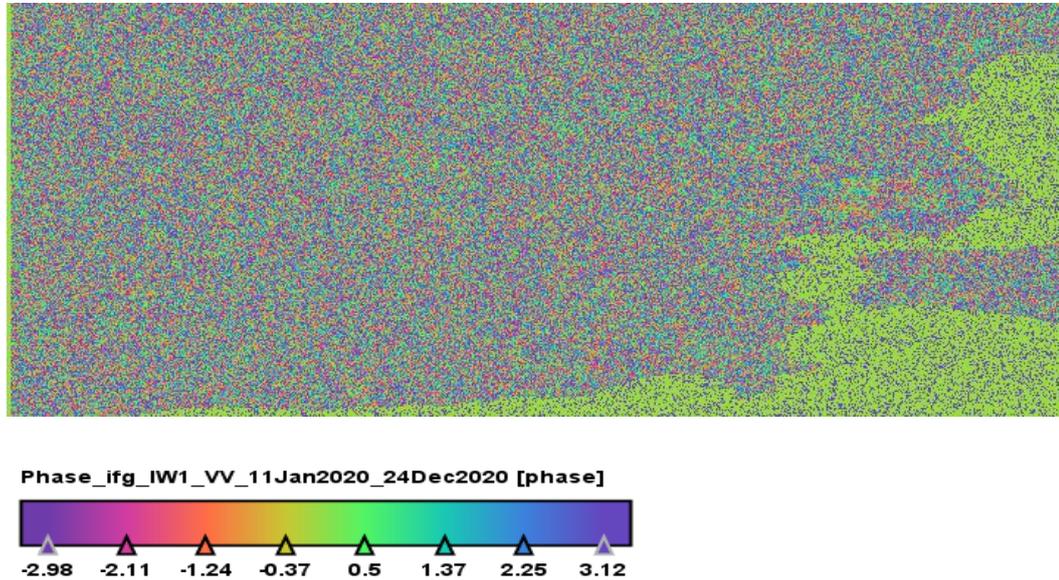
Diperkirakan *land subsidence* yang terjadi di Kab. Sidoarjo sekitar Lumpur Lapindo pada tahun 2014-2020 cukup stabil sehingga tidak memerlukan data dengan jarak temporal yang terlalu dekat untuk mengamati perubahannya.

Data yang digunakan untuk menginterpretasikan penurunan permukaan tanah yaitu data citra Sentinel-1A dengan format IW dengan data level 1 SLC sebanyak tujuh pasang citra.

Tabel 4.2 Data Produk Citra SAR

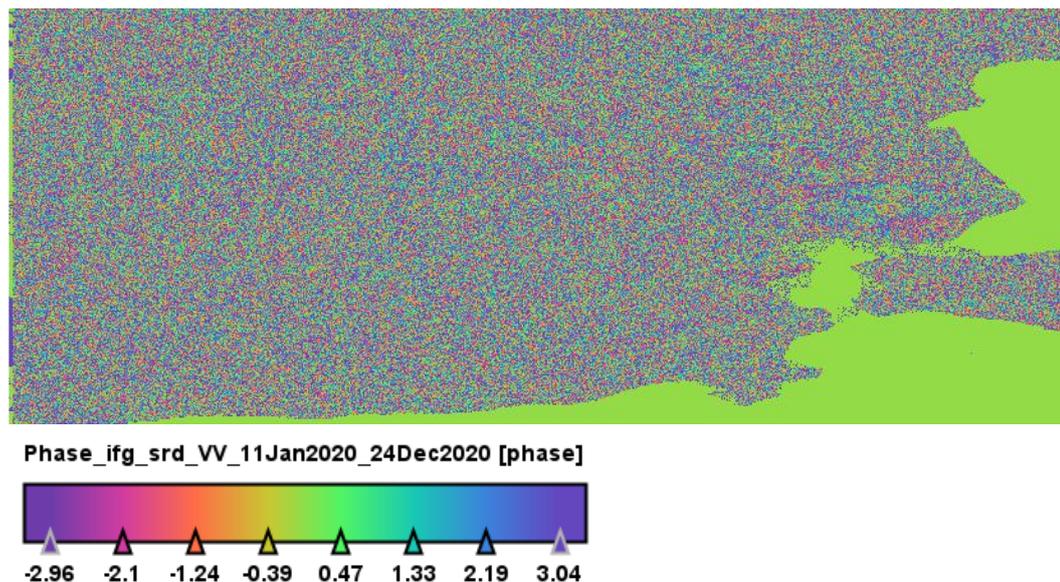
ID_Scene	Tanggal Perekaman	Baseline Perpendicular	Baseline Temporal
S1A_20141021T10492 1_20141220T104920	21 Oktober 2014 dan 20 Desember 2014	-94 m dan -146 m	61 Hari
S1A_20150206T10491 8_20150314T104919	06 Februari 2015 dan 14 Maret 2015	-64 m dan -48 m	37 Hari
S1A_20160120T10494 7_20161221T104958	20 Januari 2016 dan 21 Desember 2016	-38 m dan -66 m	337 Hari
S1A_20170114T10495 6_20171228T104949	14 Januari 2017 dan 28 Desember 2017	-90 m dan -35 m	349 Hari
S1A_20180109T10494 9_20181223T104956	09 Januari 2018 dan 23 Desember 2018	-33 m dan -76 m	349 Hari
S1A_20190104T10495 6_20191230T105002	04 Januari 2019 dan 30 Desember 2019	-57 m dan -88 m	361 Hari
S1A_20200111T10500 2_20201224T105009	11 Januari 2020 dan 24 Desember 2020	-94 m dan -60 m	348 Hari

Tahap Processing data hanya menghilangkan noise yang ada pada citra. Tahap pertama yaitu Deburst dimana pada tahap ini berfungsi sebagai penghilangan garis-garis horizontal yang ada pada citra dapat dilihat pada gambar 4.5.



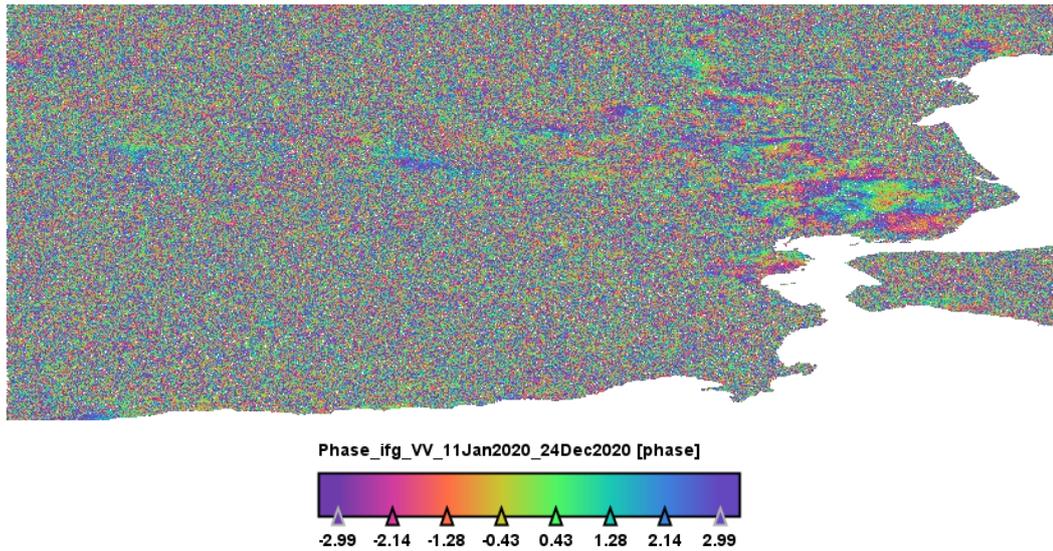
Gambar 4.5 Hasil Interferogram Setelah Deburst dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)

Interferogram phase yang menggambarkan area penelitian masih mengandung unsur deformasi, topografi, noise, atmosfer serta dipengaruhi oleh pencitraan kesamping (side looking) atau dapat disebut dengan garis horizontal. Tahap selanjutnya yaitu tahap topography phase removal karena hasil interferogram dari dua pasang citra masih mengandung unsur topografi. Pada tahap ini dibutuhkan DEM SRTM untuk membuat simulasi interferogram dan mensubstraksikan fasa topografi dari interferogram yang diolah. Gambar 4.6 merupakan hasil dari proses penghapusan unsur topography adalah sebagai berikut



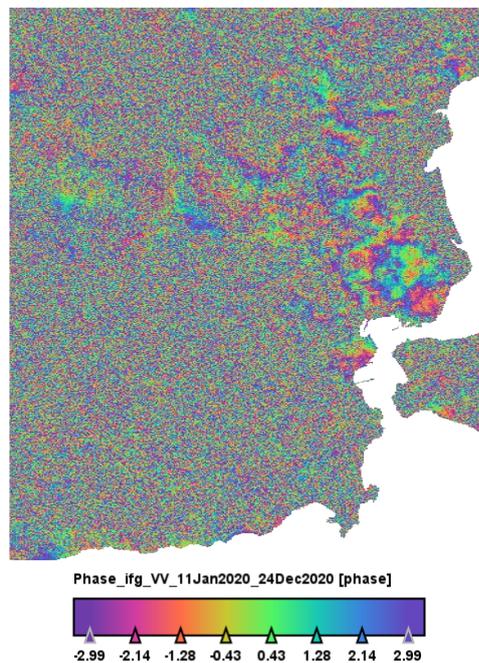
Gambar 4.6 Hasil Penghapusan Topografi dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020), Slave (24 Desember 2020) dan DEM SRTM

Noise dan atmosfer berhubungan dengan gangguan terhadap nilai fase yang didapatkan. 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, dimana ukuran tersebut terjadi karena proses penguatan (amplification) saat penjalaran sinyal balik melalui medium udara atau atmosfer. Pada tahap ini disebut dengan tahap filter Goldstein yang berfungsi untuk meningkatkan ketajaman citra, Menurut Goldstein dan Werner (1998), menunjukkan proses filtering secara signifikan dapat meningkatkan visibilitas fringes yang ada di citra inteferogram, sehingga fringes lebih mudah untuk diinterpretasikan secara visual. Hasil dari phase interferogram sudah dapat menunjukkan penurunan permukaan tanah dengan indikasi tingkat kerapatan fringes yang ada pada citra phase interferogram dalam satuan phase. Pada gambar 4.7 memperlihatkan interferogram yang telah melewati tahap filter Goldstein sebagai berikut



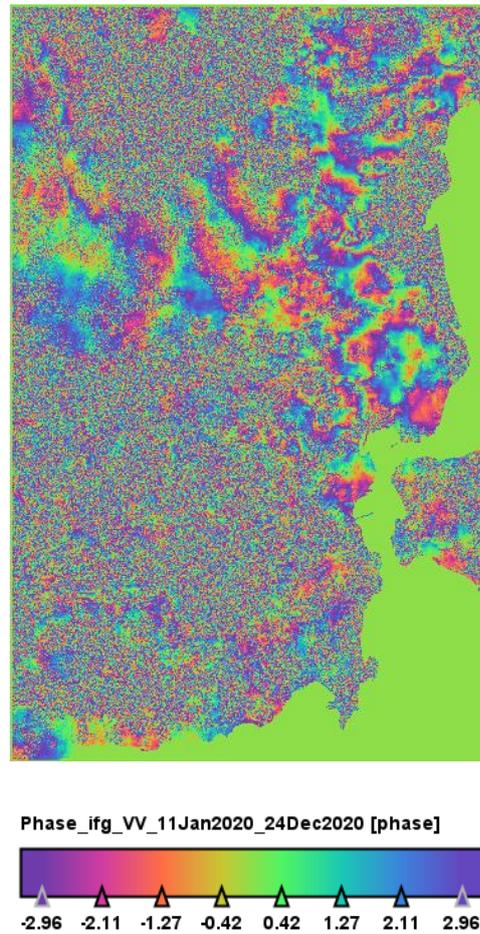
Gambar 4.7 Hasil Filter Goldstein

Setelah di filter, langkah berikutnya dilakukan Multilooking yang berfungsi untuk mengubah dari single look menjadi multilook sehingga membentuk pixel dari horizontal menjadi vertikal dan dapat terlihat dari segi manapun. Nilai fasa nya pun tetap dari tahap sebelumnya. Tampilan seperti pada gambar 4.8 yang merupakan hasil dari multilooking.



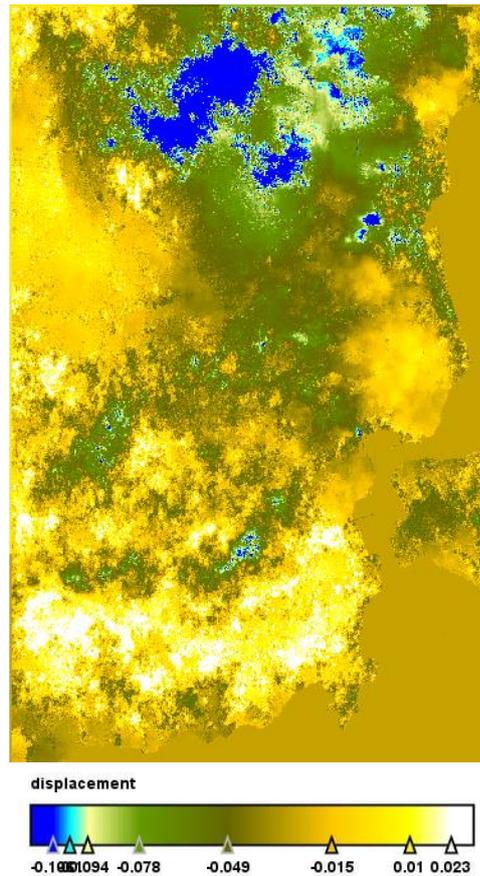
Gambar 4.8 Hasil Interferogram Multilooking

Namun, fasa-fasa yang sudah terbentuk dalam pemrosesan sampai Multilooking masih mengandung fasa ambiguitas, sehingga perlu dihilangkan fasa ambiguitas tersebut menjadi fasa absolut. Proses ini disebut dengan phase unwrapping. Warna yang terbaca dalam tiap pixelnya menunjukkan nilai perubahan phase. Terlihat pada gambar 4.9 berikut



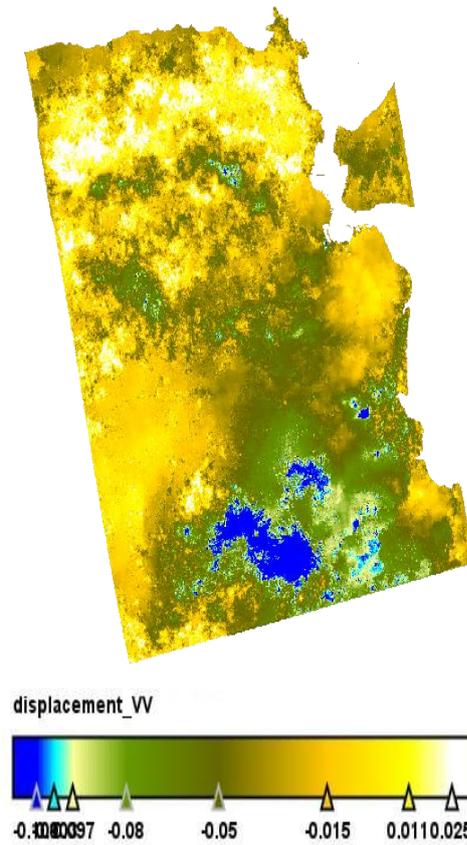
Gambar 4.9 Hasil Phase Unwrapping

Lalu tahap selanjutnya dilakukan konversi data unwrap menjadi fasa ke tinggi untuk mengetahui perbedaan tinggi dari proses DInSAR atau mengkonversi dari slant to height dengan menggunakan phase to displacement sesuai yang ada di gambar 4.10. Hasil yang diperoleh pada proses unwrapping masih dalam satuan π rad (phase). Konversi untuk mendapatkan nilai satuan metrik diperlukan proses displacement



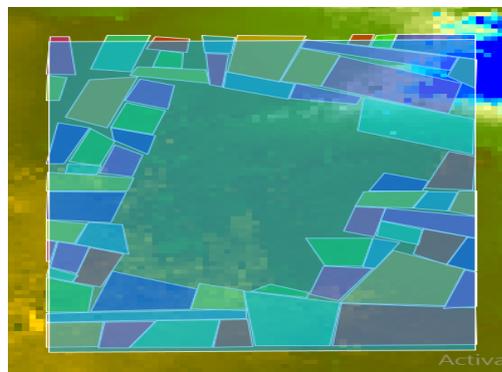
Gambar 4.10 Hasil Phase to Displacement dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)

Langkah selanjutnya adalah geocoding, yakni disebut juga dengan RangeDoppler Terrain correction yang bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra radar pada interferogram ke system koordinat global sehingga interferogram yang terbentuk sudah bergeoreferensi agar selanjutnya untuk membuat peta spasial penurunan muka tanah. Berikut gambar 4.11 merupakan hasil dari geocoding adalah sebagai berikut :



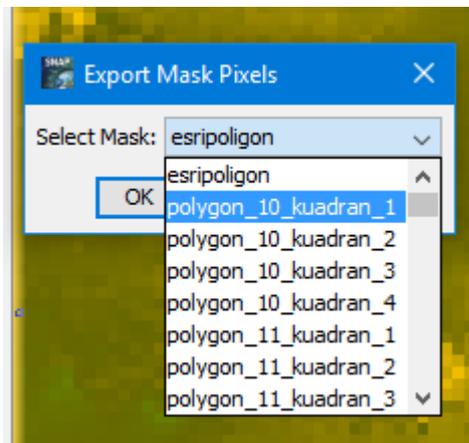
Gambar 4.11 Hasil Geocoding dari Pasangan Citra Master (11 Januari 2020) dan Slave (24 Desember 2020)

Setelah tahap geocoding lalu membuat polygon di QGIS untuk dimasukkan ke hasil geocoding dengan menggunakan tahap masking seperti pada gambar 4.12 agar dapat di convert dan menghasilkan data nilai subsidence dan uplift pada daerah penelitian.



Gambar 4.12 Hasil Masking Daerah Penelitian pada Citra

Setelah sudah memasking daerah penelitian maka akan ditampilkan menu seperti yang terlihat pada gambar 4.14. Oleh karena itu nilai subsidence dan uplift akan muncul setelah memilih titik dan mengkonvert menjadi file csv.

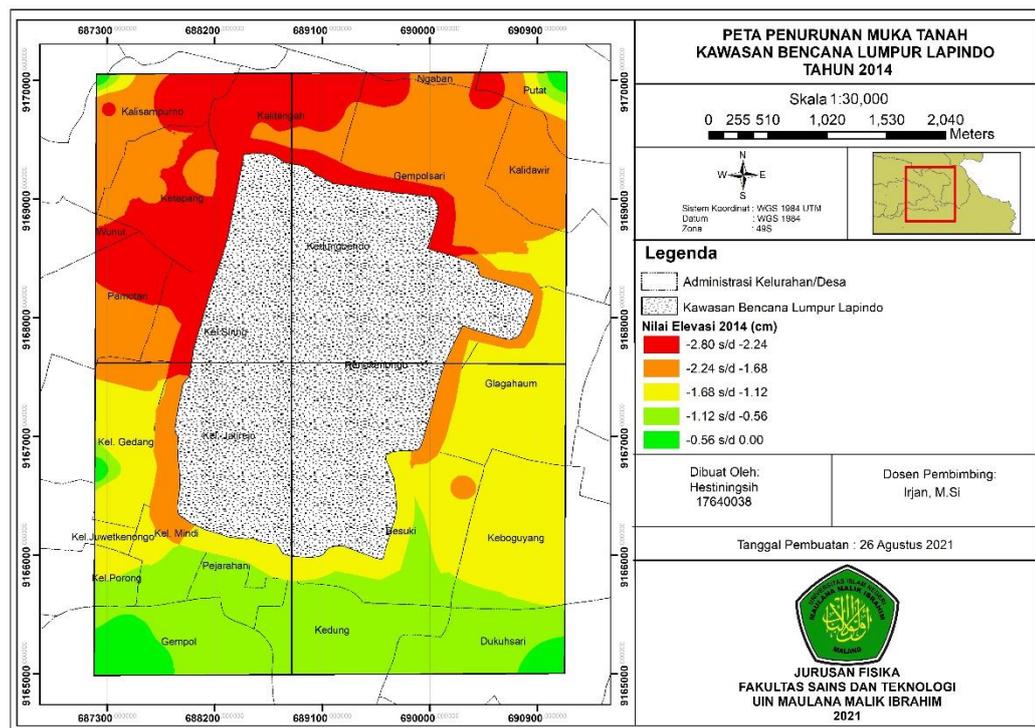


Gambar 4.13 Menu Bar Export Mask Pixel sebagai Nilai Subsidence dan Uplift pada Citra

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2014

Untuk melihat sebaran deformasi (subsidence dan uplift) yang terjadi di bagian kuadran I, II, III, IV maka dibuat Koordinat Cartesian 1 yang melintang vertical dan horizontal menggunakan software QGIS 3.20.1. Besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra SAR tahun 2014, berikut Gambar 4.14 Yang merupakan peta sebaran garis koordinat Cartesian 1 yang dapat diamati.



Gambar 4.14 Peta Sebaran Koordinat Cartesian 1

Adapun besar nilai deformasi baik *uplift* maupun *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2014 (cm/th) yakni sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang Koordinat Cartesian 1 Kuadran I menunjukkan *subsidence*. Nilai *subsidence* tertinggi 2,49 cm sedangkan terendah 1,45 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gempolsari, Kalidawir, Putat, Ngaban dan sebagian desa Glagaharum dan Kalitengah. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,09 cm.

b. Kuadran II

Nilai deformasi hasil dari teknik *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 1 kuadran II secara menyeluruh mengalami *subsidence*. Nilai tertinggi mencapai 2.80 cm sedangkan

subsidence terendah 1,79 cm. Titik yang mengalami *subsidence* di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut, Pamotan dan Kalisampurno. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,29 cm.

c. Kuadran III

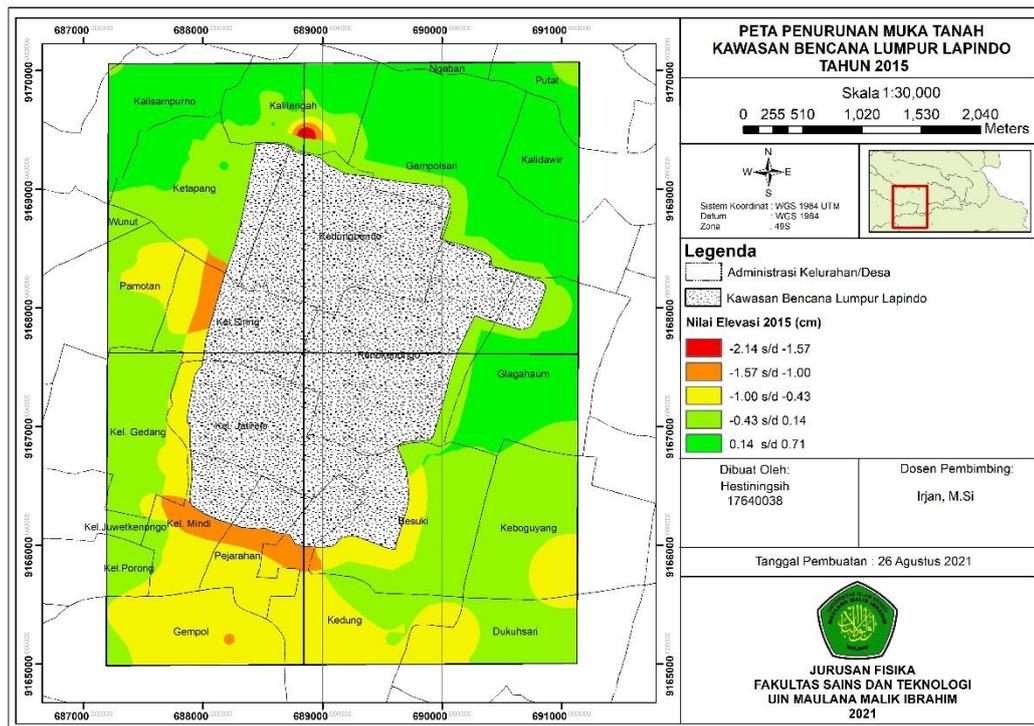
Bagian Kuadran III secara keseluruhan mengalami *subsidence*. Di sepanjang Koordinat Cartesial 1 menunjukkan *subsidence*. Nilai tertinggi *subsidence* yaitu 1,66 cm sedangkan terendah 0,41 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 1,03 cm.

d. Kuadran IV

Pada Kuadran IV rata-rata mengalami penurunan tanah. Nilai *subsidence* terendah 0,55 cm sedangkan nilai tertinggi 1,84 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Pejarakan, Keboguyang, kedungcangkring, dukuhsari dan sebagian desa glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 1,22 cm.

4.3.2 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2015

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra SAR tahun 2015, berikut Gambar 4.15 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesial 2 yang dapat diamati.



Gambar 4.15 Peta Sebaran Koordinat Cartesian 2

a. Kuadran I

Kondisi deformasi pada bagian kuadran I atau sepanjang koordinat Cartesian 2 menunjukkan adanya *uplift*. Nilai tertinggi 0,55 cm sedangkan *uplift* terendah 0,20 cm. Titik yang mengalami *uplift* berada di sekitar Desa Gempolsari, sebagian desa Gempolsari, sebagian desa Glagaharum dan sebagian desa Putat. Pada kuadran ini memiliki rata-rata kenaikan tanah sebesar 0,31 cm.

b. Kuadran II

Nilai deformasi menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 2 sebagian kuadran II mengalami *uplift*, namun di sebagian Desa Kludan dan sebagian Desa Ketapang terjadi *subsidence*. Nilai *subsidence* dengan nilai terbesar 0,81 cm dan terendah 0,07 cm sedangkan *uplift* antara 0 s/d 1 cm/th dengan nilai terbesar yaitu 0,71 cm dan terendah

yaitu 0,14 cm yang terletak di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut dan Pamotan. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,05 cm.

c. Kuadran III

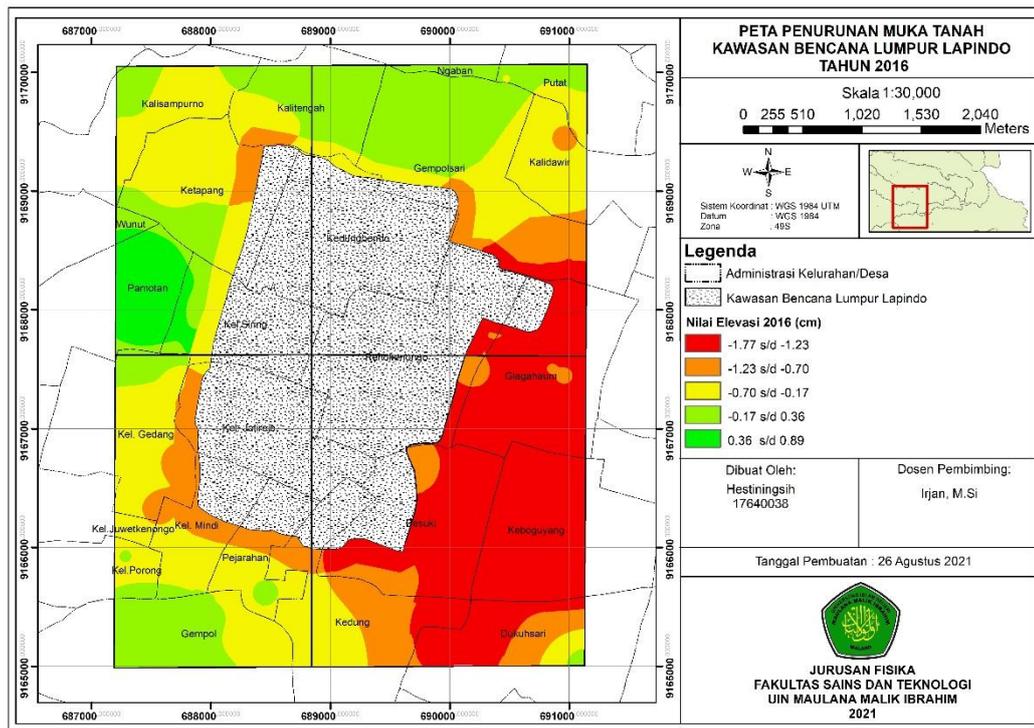
Disepanjang koordinat Cartesians 2 bagian kuadran III mengalami *subsidence*. Nilai *subsidence* terendah 0,10 cm sedangkan *subsidence* tertinggi 1,01 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,50 cm.

d. Kuadran IV

Nilai deformasi menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesians 2 sebagian mengalami *uplift*, namun di Desa Glagaharum terjadi *subsidence*. Nilai *subsidence* dengan nilai terbesar 0,82 cm dan terendah 0,04 cm sedangkan *uplift* dengan nilai terbesar yaitu 0,60 cm dan terendah yaitu 0,02 cm yang terletak di Desa keboguyang, Besuki, Kedungcangkring, dukuhsari dan Pejarakan. Pada kuadran ini memiliki rata-rata kenaikan tanah sebesar 0,01 cm.

4.3.3 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2016

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2016, berikut gambar 4.16 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesians 3 yang dapat diamati.



Gambar 4.16 Peta Sebaran Koordinat Cartesian 3

Besar nilai deformasi baik *uplift* maupun *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2016 yaitu sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang koordinat Cartesian 3 kuadran I menunjukkan sebagian mengalami *Subsidence*, namun di sebagian Desa Kalidawir terjadi *uplift*. Nilai *subsidence* dengan nilai terbesar 1,77 cm dan terendah 0,03 cm sedangkan *uplift* dengan nilai terbesar yaitu 0,16 cm dan terendah yaitu 0,06 cm yang terletak di sebagian Desa Kalidawir, sebagian desa Kalitengah, Putat, Ngaban, seluruh Desa Gempolsari dan sebagian desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,28 cm.

b. Kuadran II

Nilai deformasi menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesial 3 sebagian mengalami *Subsidence*, namun di sebagian Desa Pamotan dan sebagian Desa Ketapang terjadi *uplift*. Nilai *subsidence* dengan nilai terbesar 0,69 cm dan terendah 0,13 cm sedangkan *uplift* dengan nilai terbesar yaitu 0,89 cm dan terendah yaitu 0,01 cm yang terletak di sebagian Desa Ketapang, Wunut, Kalisampurno dan sebagian Desa Kalitengah. Pada kuadran ini memiliki rata-rata kenaikan tanah sebesar 0,05 cm.

c. Kuadran III

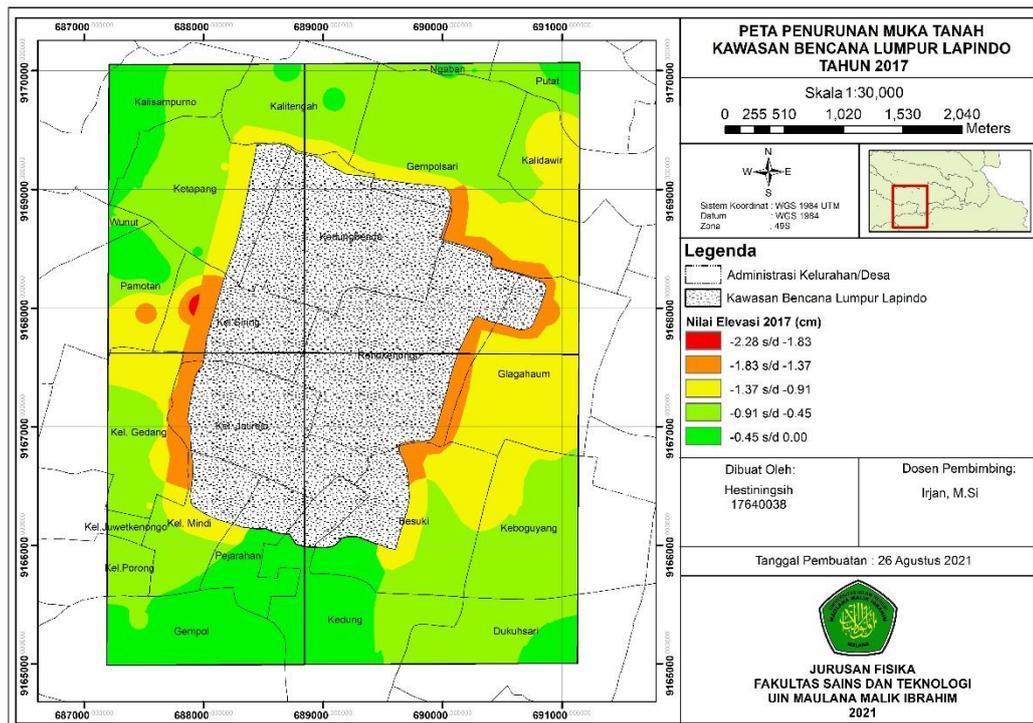
Di sepanjang koordinat Cartesial 3 kuadran III menunjukkan adanya *subsidence*. Nilai *subsidence* terbesar 0,91 cm dan terendah 0,12 yang bertitik di desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,34 cm.

d. Kuadran IV

Pada Koordinat Cartesial 3 kuadran IV menunjukkan adanya *subsidence* dan nilainya meningkat dari tahun sebelumnya. Nilai *subsidence* terendah 0,88 cm sedangkan nilai tertinggi 1,71 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Pejarakan, Kedungcangkring, Dukuhsari, Keboguyang dan sebagian desa glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 1,33 cm.

4.3.4 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2017

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra SAR tahun 2017, berikut gambar 4.17 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesian 4 dan gambar 4.8 merupakan grafik besar deformasi (cm/th) yang dapat diamati di sepanjang koordinat Cartesian 4.



Gambar 4.17 Peta Sebaran Koordinat Cartesian 4

Besar nilai deformasi *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2017 yaitu sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang Koordinat Cartesian 4 Kuadran I menunjukkan *subsidence*. Nilai *subsidence* tertinggi 1,45 cm sedangkan terendah 0,38 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gempolsari, Kalidawir, Ngaban, Putat dan Sebagian Glagaharum serta

Kalidawir. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar - 0,71 cm.

b. Kuadran II

Nilai deformasi yang dihasilkan dengan metode *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesians 4 kuadran II secara menyeluruh mengalami *subsidence*. Nilai tertinggi mencapai 2.29 cm sedangkan *subsidence* terendah 0,07 cm. Titik yang mengalami *subsidence* di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut, Pamotan dan Kalisampurno. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,70 cm.

c. Kuadran III

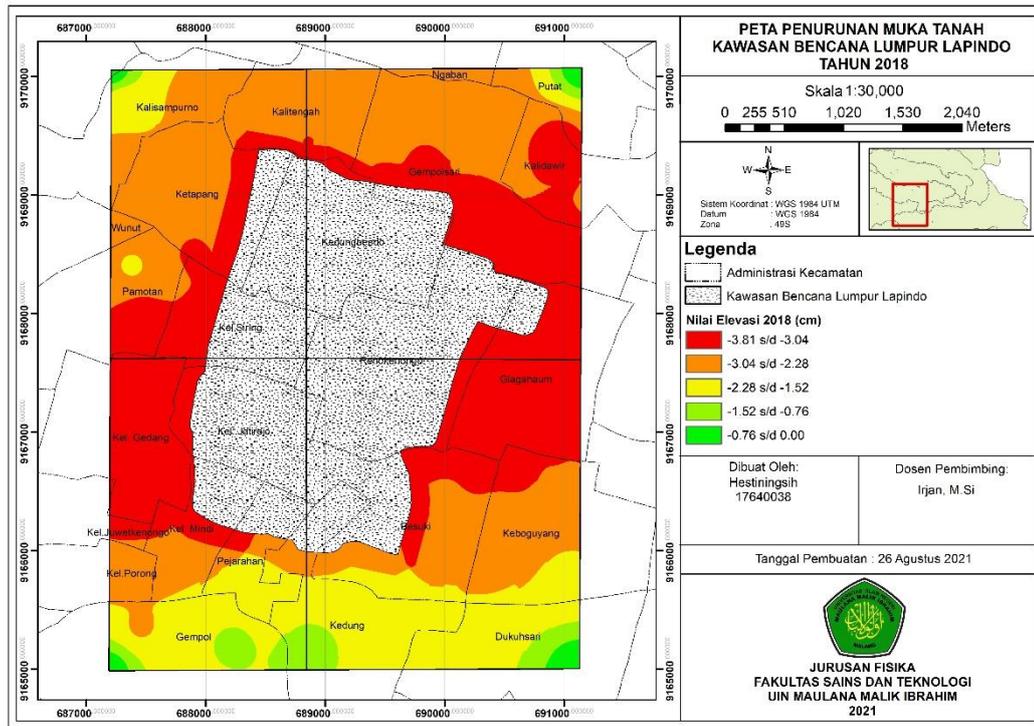
Bagian Kuadran III secara keseluruhan mengalami *subsidence*. Di sepanjang Koordinat Cartesians 4 menunjukkan *subsidence*. Nilai tertinggi *subsidence* yaitu 1,14 cm sedangkan terendah 0,14 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,56 cm.

d. Kuadran IV

Pada Kuadran IV rata-rata mengalami penurunan tanah. Nilai *subsidence* terendah 0.35 cm sedangkan nilai tertinggi 1,21 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Kedungcangkring, Dukuhsari, Pejarakan, Keboguyang dan sebagian Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,86 cm.

4.3.5 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2018

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2018, berikut gambar 4.18 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesien 5 yang dapat diamati.



Gambar 4.18 Peta Sebaran Koordinat Cartesien 5

Besar nilai deformasi *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2018 yaitu sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang Koordinat Cartesien 5 Kuadran I menunjukkan *subsidence*. Nilai *subsidence* tertinggi 3,52 cm sedangkan terendah 2,40 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di sebagian desa Kalitengah, Ngaban, Putat, Gempolsari, Kalidawir dan sebagian desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,97 cm.

b. Kuadran II

Nilai *subsidence* yang diperoleh dengan metode *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 5 kuadran II secara menyeluruh mengalami *subsidence* yang lebih tinggi dari tahun sebelumnya dan naik secara signifikan. Nilai tertinggi mencapai 3,81 cm sedangkan *subsidence* terendah 2,13 cm. Titik yang mengalami *subsidence* di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut, Pamotan dan Kalisampurno. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,77 cm/th.

c. Kuadran III

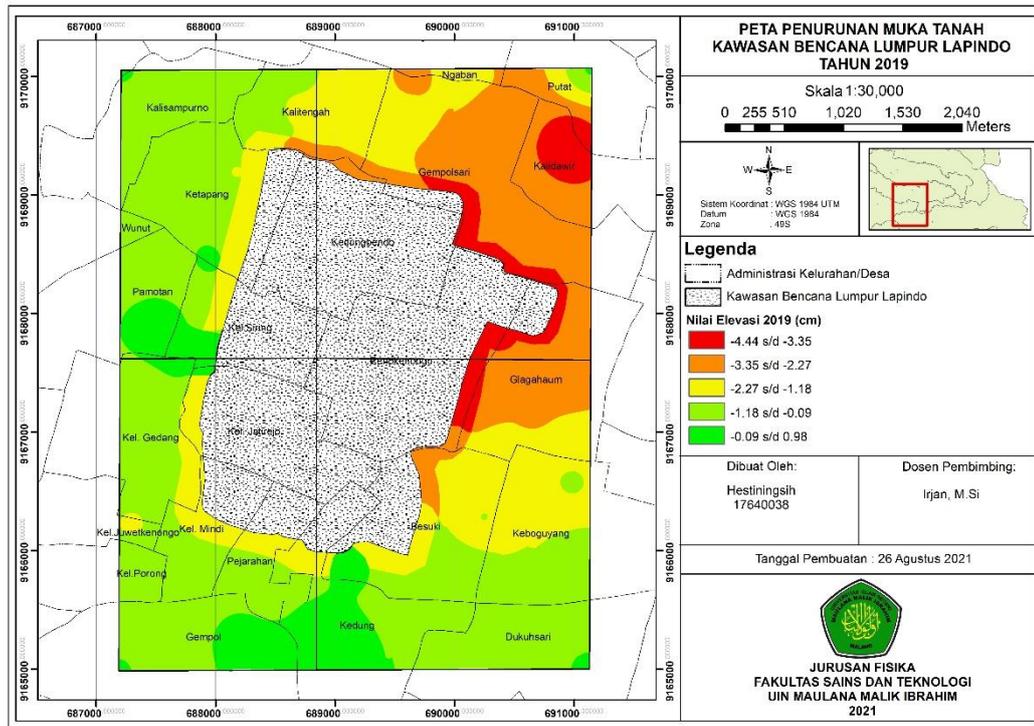
Bagian Kuadran III secara keseluruhan mengalami *subsidence*. Di sepanjang Koordinat Cartesian 5 menunjukkan *subsidence*. Nilai tertinggi *subsidence* yaitu 3,53 cm sedangkan terendah 1,23 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,58 cm.

d. Kuadran IV

Pada Kuadran IV rata-rata mengalami penurunan tanah. Nilai *subsidence* terendah 1,66 cm sedangkan nilai tertinggi 3,65 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Pejarakan, Kedungcangkring, Dukuhsari, Keboguyang dan sebagian Desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,92 cm.

4.3.6 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2019

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2019, berikut gambar 4.19 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesien 6 yang dapat diamati.



Gambar 4.19Peta Sebaran Koordinat Cartesien 6

Besar nilai deformasi *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2019 yaitu sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang Koordinat Cartesien 6 Kuadran I menunjukkan *subsidence*. Nilai *subsidence* tertinggi 4,44 cm sedangkan terendah 0,88 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gempolsari, Kalidawir, sebagian desa Kalitengah, Ngaban, Putat dan sebagian desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 2,38 cm.

b. Kuadran II

Nilai *subsidence* yang diperoleh dengan teknik *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 6 kuadran II secara menyeluruh mengalami *subsidence* yang menurun dari tahun sebelumnya. Nilai tertinggi mencapai 1,19 cm sedangkan *subsidence* terendah 0,24 cm. Titik yang mengalami *subsidence* di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut, Pamotan dan Kalisampurno. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,48 cm.

c. Kuadran III

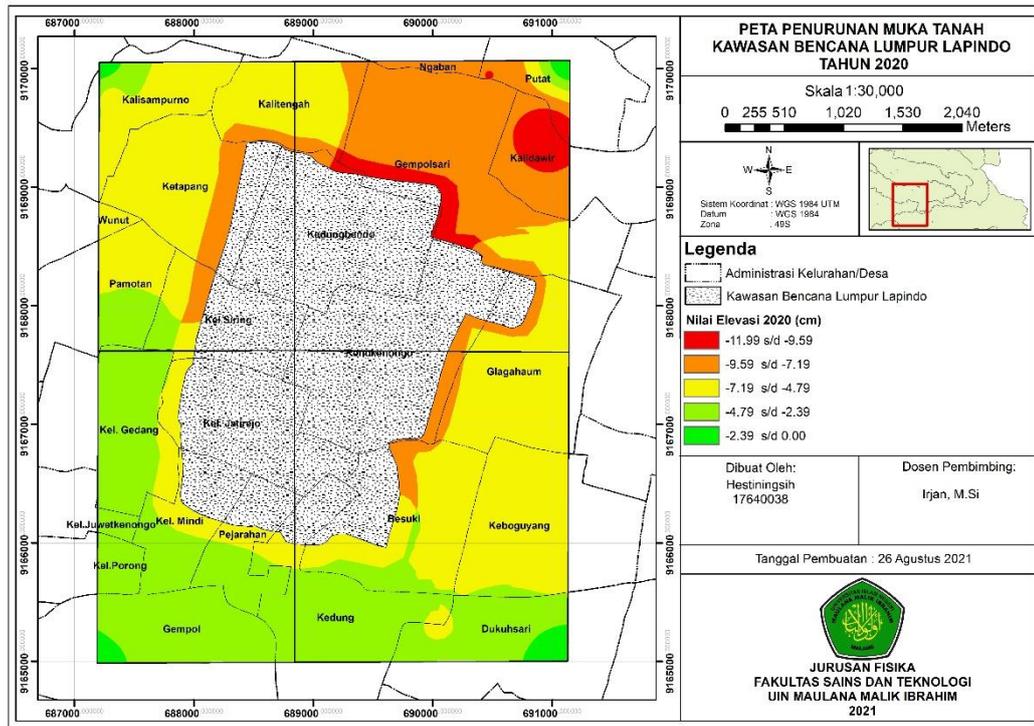
Bagian Kuadran III secara keseluruhan mengalami *subsidence*.. Di sepanjang Koordinat Cartesian 6 menunjukkan *subsidence*. Nilai tertinggi *subsidence* yaitu 1,40 cm sedangkan terendah 0,14 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 0,46 cm.

d. Kuadran IV

Pada Kuadran IV rata-rata mengalami penurunan tanah. Nilai *subsidence* terendah 0,20 cm sedangkan nilai tertinggi 3,40 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Pejarakan, Kedungcangkring, Dukuhsari, Keboguyang dan sebagian Desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 1,57 cm.

4.3.7 Analisa Besar *Land Subsidence* Tahun 2020

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2020, berikut gambar 4.20 yang merupakan peta sebaran koordinat Cartesian 7 yang dapat diamati.



Gambar 4.20 Peta Sebaran Koordinat Cartesian 7

Besar nilai deformasi *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2020 yaitu sebagai berikut :

a. Kuadran I

Kondisi deformasi di sepanjang Koordinat Cartesian 7 Kuadran I menunjukkan *subsidence*. Nilai *subsidence* tertinggi 12 cm sedangkan terendah 5,17 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di sebagian desa Kalitengah, Ngaban, Putat, Gempolsari, Kalidawir dan sebagian desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 7,72 cm.

b. Kuadran II

Nilai deformasi untuk *subsidence* yang diperoleh dengan teknik *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang koordinat Cartesian 7 kuadran II secara menyeluruh mengalami *subsidence* yang meningkat sangat signifikan dari tahun-tahun sebelumnya.. Nilai tertinggi mencapai 6,17 cm sedangkan *subsidence* terendah 5,17 cm. Titik yang mengalami *subsidence* di sebagian Desa Kalitengah, Ketapang, Wunut, Pamotan dan Kalisampurno. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 5,47 cm.

c. Kuadran III

Bagian Kuadran III secara keseluruhan mengalami *subsidence*.. Di sepanjang Koordinat Cartesian 7 menunjukkan. Nilai tertinggi *subsidence* yaitu 4,19 cm sedangkan terendah 3,19 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Gedang, Juwetkenongo dan Porong. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 3,79 cm.

d. Kuadran IV

Pada Kuadran IV rata-rata mengalami penurunan tanah. Nilai *subsidence* terendah 4,09 cm sedangkan nilai tertinggi 5,86 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Besuki, Pejarakan, Kedungcangkring, Dukuhsari, Keboguyang dan sebagian Desa Glagaharum. Pada kuadran ini memiliki rata-rata penurunan tanah sebesar 5,35 cm.

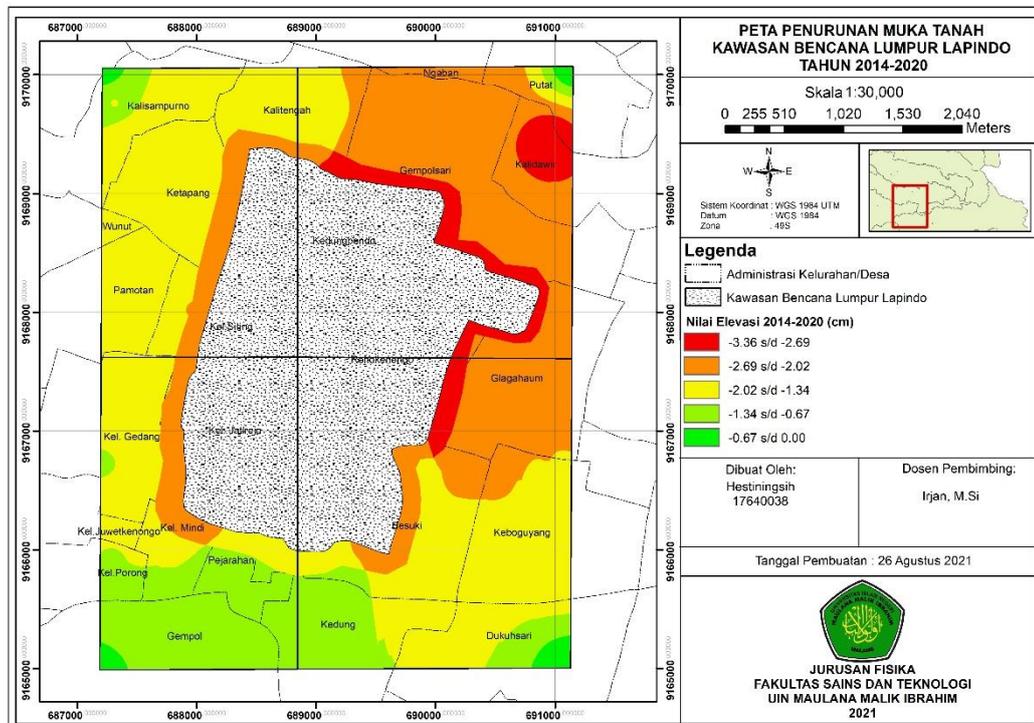
4.3.8 Analisa Perbandingan Besar *Land Subsidence* dengan Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini didapatkan bahwa skala deformasi yang terjadi di daerah Lapindo pada tahun 2014-2020 hingga 12 cm untuk *subsidence* sedangkan 1 cm untuk *uplift*. Diketahui juga bahwa di bagian kuadran II dan kuadran III yang cenderung menalami penurunan tanah, sedangkan bagian kuadran I dan IV tetap mengalami penurunan tanah tetapi tidak signifikan yang di beberapa titik mengalami *uplift*. Tabel 4.3 Merupakan perbandingan besar deformasi yang terjadi pada tahun 2014-2020 berdasarkan masing-masing kuadran.

Tabel 4.3 Besar Deformasi Tahun 2014-2020

Bagian	2014 (cm/th)		2015 (cm/th)		2016 (cm/th)		
	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	
Kuadran I		-2.09553	0.31269			-0.28875	
Kuadran II		-2.29593		-0.05484	0.05595		
Kuadran III		-1.03587		-0.5036		-0.34753	
Kuadran IV		-1.22344	0.01716			-1.33994	
	2017(cm/th)		2018 (cm/th)		2019 (cm/th)		2020 (cm/th)

Bagian	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>	<i>Uplift</i>	<i>Subsidence</i>
Kuadran I		-0.7118		-2.9734		2.38673		-7.72913
Kuadran II		-0.70947		2.77787		0.48906		-5.47947
Kuadran III		-0.56627		2.58213		0.46543		-3.794
Kuadran IV		-0.8665		2.92488		1.57078		-5.35344



Gambar 4.21 Peta Penurunan Muka Tanah Kawasan Bencana Lumpur Lapindo Tahun 2014-2020

Untuk mengetahui kebenaran nilai deformasi dari beberapa penelitian lain, berikut penjelasannya:

- a. Penelitian LPPM, didapatkan prakiraan besar deformasi Lumpur Lapindo tahun 2007 – 2008 yang diukur menggunakan metode GPS (Global Positioning System) yaitu sebagai berikut (Widodo, 2009):

Tabel 4.4 Prakiraan Subsidence dari Pengukuran GPS

Desa	Bagian	Pengukuran GPS (LPPM 2007-2008)
Pamotan	Barat	-30 – -40 cm
Gedang	Selatan	-20 – -30 cm
Ketapang	Barat Laut	-5 - -10 cm
Glagaharum	Timur	-5 – -10 cm
GempolSari	Utara	-5 – -10 cm

- b. Hasil pengukuran GPS menunjukkan pada sisi utara cenderung uplift dan terjadi pergeseran horizontal kearah timur Desa Kalidawir. Pengukuran bulan Juni-Juli 2008 didapatkan nilai uplift pada sebesar 5 cm (Cahyono, 2010).
- c. Hasil pengukuran GPS bulan Mei – September 2011 di beberapa titik (Bukhori, 2012):

Tabel 4.5 Besar Deformasi dari Pengukuran GPS (Sumber: Bukhori, 2012)

Titik	Desa/Bagian	Cenderung	Deformasi
		Naik/Turun	Tertinggi
PT01	Kalidawir/Timur Laut	Naik	7,2 cm
BW08	Gempolsari/Utara	Turun	-2,1 cm
VK13	Pejarakan/Selatan	Naik	3,5 cm
1305	Mindi/Selatan	Turun	-2,2 cm
BW13	Mindi/Selatan	Turun	-5,3 cm

BT03	Siring/Barat	Turun	-4,4 cm
BT01	Kalitengah/Barat Laut	Turun	-6,4 cm
VK09	Glagaharum/Timur	Turun	-3,8 cm
ESDM	Pamotan/Barat	Turun	-9,7 cm

- d. Hasil pengukuran metode InSAR didapatkan bahwa pada bagian utara pada tahun 2006-2008 terjadi kenaikan muka tanah (uplift) dengan rentang 0-20 cm, sedangkan di bagian selatan terjadi land subsidence dengan rentang 0 s/d -20 cm (Darminto, 2015).
- e. Hasil pengukuran metode DInSAR dengan citra Alos Palsar pada tahun 2008-2011. Dalam penelitian ini didapatkan bahwa skala deformasi yang terjadi di daerah Lapindo pada tahun 2008 sampai 2011 yakni 0 s/d -20 cm/th untuk subsidence dan 0 – 10 cm/th untuk uplift (Sedy Ayu Yulyta, 2015)

Tabel 4.6 Besar Deformasi Tahun 2008-2011

Bagian	2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)
Utara	0 --10	-	0 - 5	0 --10	0 - 5	0 --5
Selatan	-	0 --20	-	0 --15	-	0 --10
Barat	-	0 --15	-	0 --20	-	0 --15
Timur	0 - 10	0 - -10	-	0 --10	0 -10	0 - -10

- f. Hasil pengamatan di lapangan pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 berdasarkan pengamatan data GPS terlihat adanya penaikan tertinggi dan penurunan. Nilai penurunan terendah adalah 0,26709 m pada titik TTG 1307 yang berada disekitar Desa Porong dan penaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14 di sekitar Desa Keboguyang. Namun, apabila dilihat secara keseluruhan, titik pada penelitian 2016 ini

cenderung untuk mengalami penurunan tanah, dimana kenaikan tanah hanya terjadi antara kala pertama dengan kala kedua saja (Kukuh Prakoso Sudarsono, 2017)

- g. Hasil dari penelitian (Purnawali, 2018) dengan menggunakan metode Persamaan Garis Regresi Linear (*Trendline Formula*) didapatkan data sebaran rata-rata penurunan muka tanah (2010-2016) per kecamatan di Kabupaten Sidoarjo. Dapat dilihat bahwa sebaran penurunan muka tanah dengan nilai tertinggi mendominasi wilayah dari Kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon. Ketiga kecamatan ini adalah kecamatan-kecamatan yang berada di sekitar semburan lumpur lapindo, dengan rata-rata penurunan muka tanah di beberapa wilayah kecamatan-kecamatan tersebut sebesar > 8 cm/tahun. Nilai penurunan muka tanah tertinggi terdapat pada Kecamatan Porong dengan nilai rata-rata penurunan muka tanah sebesar > 10 cm/tahun

Tabel 4.7 Prediksi Penurunan Muka Tanah Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Persamaan Garis Regresi Linear (*Trendline Formula*)

Nama Desa	Hasil Pengukuran Lapang (Haryanto dkk., 2016)				Prediksi menggunakan persamaan garis regresi linier				
	Elevasi Tahun 2010 (m)	Elevasi Tahun 2016 (m)	Penurunan Tanah (m/6 thn)	Penurunan Tanah (m/thn)	Trendline Formula	Elevasi Tahun 2017 (m)	Elevasi Tahun 2042 (m)	Penurunan Tanah 2017-2042 (m/25thn)	Penurunan Tanah (m/thn)
Desa Kludan	32,842	32,218	0,624	0,104	$Y=-0,1040X+241,88$	32,11	29,51	2,600	0,104
Desa Wunut	33,082	32,491	0,591	0,099	$Y=-0,0985X+231,07$	32,40	29,93	2,463	0,099
Desa Gempol Sari	31,711	31,474	0,237	0,039	$Y=-0,0395X+111,11$	31,44	30,45	0,988	0,040
Desa Jati Rejo	34,008	33,477	0,531	0,089	$Y=-0,0885X+211,89$	33,39	31,17	2,213	0,089
Desa Randekan	34,621	34,235	0,386	0,064	$Y=-0,0643X+163,93$	34,24	32,63	1,608	0,064
Kejapanan	43,483	43,175	0,308	0,051	$Y=-0,0513X+146,66$	43,19	41,91	1,283	0,051
Desa Porong	39,374	38,928	0,446	0,074	$Y=-0,0743X+188,78$	38,92	37,06	1,858	0,074
Desa Ngampel Sari	32,870	32,687	0,183	0,031	$Y=-0,0305X+94,175$	32,66	31,89	0,763	0,031
Desa Glagah Arum	32,207	31,575	0,632	0,105	$Y=-0,1053X+243,93$	31,54	28,91	2,632	0,105

Hasil yang didapatkan sesuai dengan table 4.3 bahwa rata-rata penurunan tanah yang terjadi pada penelitian ini mencapai 1,79 cm/thn. Lalu penelitian lain menyebutkan bahwa deformasi pada tahun berikutnya semakin mengecil dan hanya terjadi pada area radius $\pm 1,5$ km dari pusat semburan

(Suliantara & Febriono, 2008). Sedangkan jika dibandingkan antara table 4.3 dan 4.5 menggunakan GPS (Mei-September 2011) walaupun nilai deformasinya berbeda. Sesuai dengan table 4.5 bahwa pada tahun 2011 titik yang berada di timur laut mengalami *uplift* sedangkan sebagian besar cenderung mengalami *subsidence*. Lalu dibandingkan dengan penelitian Sedy Ayu Yulyta dengan menggunakan metode DInSAR (Tahun 2008-2011) walaupun nilai deformasi cenderung berbeda tetapi titik yang mengalami *uplift* sesuai yaitu dibagian utara atau timur laut dan barat laut, sedangkan untuk titik lainnya mengalami *subsidence*. Penelitian pembanding lainnya yaitu hasil dari Kukuh Prakoso Sudarsono dengan menggunakan GPS (April, Mei, Juni dan Oktober 2016) memiliki nilai deformasi yang hampir sama. Dibagian tenggara mengalami *uplift* tetapi sebagian besar mengalami *subsidence*.

Apabila fenomena semburan lumpur lapindo terus menerus terjadi kedepannya dan penurunan muka tanah yang terjadi relatif konstan, maka penurunan muka tanah yang terjadi untuk rentang waktu 10 tahun adalah bisa mencapai 100 cm/tahun atau 1 m/tahun. Maka wilayah di Kecamatan Porong, Tanggulangin dan Jabon merupakan wilayah yang paling rentan terhadap bencana bahaya banjir dibandingkan dengan kecamatan-kecamatan lain di Kabupaten Sidoarjo.

Perbedaan displacement yang didapatkan dari pengukuran GPS dan data SAR dikarenakan faktor berikut:

- a. Perbedaan waktu perekaman data SAR dengan dataGPS

- b. Perbedaan prinsip pengukuran jarak, SAR berdasarkan perbedaan phase dimana deformasi dilihat dari LOS (1D) sedangkan GPS berdasarkan penentuan posisi titik (3D) dari pengamatan metode pengikatan kebelakang.
- c. Presisi dari pengukuran DInSAR masih dalam sub- sentimeter. Bagaimanapun interferogram yang didalamnya masih mengandung kesalahan akibat orbit, ionosfer, dan perubahan kondisi topografi, sehingga teknik ini belum dapat dikatakan sebagai teknik pengukuran ground movement yang akurat.
- d. Kekuatan ketelitian pada metode InSAR tergantung pada banyak hal, contohnya akurasi orbit antara dua satelit dan kondisi atmosfer yang mempengaruhi phase delay.

Dibandingkan dengan pengukuran GPS, DInSAR memiliki kelebihan diantaranya:

- a. Teknik DInSAR mampu mengidentifikasi atau menggambarkan pola deformasi secara general.
- b. DInSAR menggunakan data dari satelit SAR yang mampu mengcover puluhan kilometer area dalam satu kali observasi tanpa peralatan survei, sehingga memudahkan peneliti dalam mengamati deformasi di area yang sulit diakses.

4.3.9 Validasi Besar *Land Subsidence* menggunakan Data Jumlah Penduduk Kab.Sidoarjo Tahun 2014-2020

Analisis dilakukan untuk mendapatkan hubungan laju penurunan dengan factor penurunan seperti kepadatan penduduk. Hal ini tentunya akan

berdampak pada daya dukung lahan sebagai tempat tinggal termasuk didalamnya kebutuhan akan konsumsi air dalam bentuk pengambilan air tanah untuk kebutuhan rumah tangga ataupun industri. Dari data table dibawah ini dapat dilihat data jumlah penduduk masing-masing kuadran dari tahun 2014-2020.

Table 4.8 Angka kepadatan Penduduk tahun 2014-2020(Sumber : BPS Kab. Sidoarjo)

Kuadran	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	10.267	10.362,5	10.470,5	11.259,6	10.289	10.756	13.860,5
2	22.208	18.496	17.007	18.605	23.913	21.154	25.556
3	54.596	51.214	49.793	53.720	55.896	54.015	63.543
4	22.121	22.355,5	22.315,5	23.855,5	21.694	22.105	24.126,5
Total	109.192	102.428	99.586	107.440	111.792	108.030	127.086

Data angka kepadatan penduduk diatas akan dibandingkan dengan rata-rata penurunan tanah pertahun. Berikut table penurunan tanah pertahun :

Table 4.9 Rata-rata penurunan tanah tahun 2014-2020

Tahun	kuadran 1	kuadran 2	kuadran 3	kuadran 4	Rata-rata
2014	-2.09553	-2.29593	-1.03587	-1.22344	-1.66269
2015	0.312693	-0.05484	-0.5036	0.017156	-0.05715
2016	-0.28875	0.055947	-0.34753	-1.33994	-0.48007
2017	-0.7118	-0.70947	-0.56627	-0.8665	-0.71351
2018	-2.9734	-2.77787	-2.58213	-2.92488	-2.81457
2019	-2.38673	-0.48906	-0.46543	-1.57078	-1.228
2020	-7.72913	-5.47947	-3.794	-5.35344	-5.58901

Dari data diatas bisa dilihat pada tahun 2020 jumlah penduduk naik signifikan sehingga nilai penurunan tanah pada tahun 2020 juga meningkat secara drastis. Untuk tahun 2014,2016,2017,2018 dan 2019 pun ternyata hasil penurunan tanah merupakan factor dari jumlah penduduk. Tetapi tidak dengan tahun 2015 walaupun penduduknya meningkat tetapi nilai penurunan tanahnya sangat kecil karena data mentah yang tersedia hanya ada 2 bulan dalam selang waktu sebulan sehingga hasil penurunan tanah sangat kecil. Tentunya dengan jumlah penduduk yang sedemikian besar maka pengambilan air tanah (ground water extraction) bagi kebutuhan rumah dan juga industri untuk wilayah perkotaan seperti di kabupaten Sidoarjo saat ini semakin meningkat khususnya dengan menggunakan sumur bor dalam. Pengambilan air tanah yang secara terus menerus (berlebih) akan mengakibatkan terjadinya penurunan permukaan tanah (landsubsidence) secara berkelanjutan. Hal ini tentunya akan berdampak terhadap stabilitas tanah dan daya dukung yang diberikan oleh tanah terhadap konstruksi bangunan yang ada di atasnya, khususnya di areal yang padat penduduk daerah kuadran 2 yang mencakup daerah Desa Gempolsari, Kalidawir dan Glagaharum.

Faktor lain yang menyebabkan penurunan tanah yaitu factor adanya industri. Karena adanya beban bangunan yang berlebih dan pengambilan air tanah yang berlebih. Berikut table jumlah industry di setiap kuadran pada tahun 2014-2020 :

Table 4.10 Jumlah Industri dari tahun 2014-2020 (Sumber : BPS Kabupaten Sidoarjo)

Tahun	kuadran 1	kuadran 2	kuadran 3	kuadran 4
2014	7	2	-	1

2015	6	2	-	6
2016	6	2	1	6
2017	6	2	1	5
2018	6	2	1	5
2019	6	2	1	6
2020	6	2	1	6
Total	6	2	1	6

Dari table diatas dapat dilihat bahwa kuadran 1 dan kuadran 4 yang memiliki industry terbanyak dan sesuai dengan nilai rata-rata penurunan tanah bahwa kuadran 1 dan kuadran 4 yang memiliki nilai penurunan tanah tertinggi diantara yang lain. Jadi dapat disimpulkan bahwa factor industry sangat mempengaruhi laju penurunan tanah.

4.3.10 Analisa Berdasarkan Kondisi Geologi dan Geografis

Untuk memperkuat hasil maka dibutuhkan analisis berdasarkan kondisi geologi dan geografis dimana kondisi geologis daerah penelitian sebagai berikut dilihat dari indicator terjadinya deformasi tanah :

- a. Awal tahun 2009 tanggul cincin yang terdapat di bagian tengah sebagian mulai amblas dan tertutupi endapan lumpur. Endapan tersebut mengarah ke utara dan timur laut dan semakin melebar sampai ke wilayah Renokenongodi bagian timur (Zaennudin & dkk, 2010). Jadi dari penelitian tersebut maka kuadran 1 kuadran 4 yang memiliki rata-rata penurunan tertinggi.

- b. Posisi garis retakan atau patahan yang memanjang dari arah timur ke barat pusat semburan menyebabkan kawasan sebelah barat semburan lebih rentan mengalami penurunan tanah. Sedangkan penurunan tanah di sebelah utara, timur dan selatan pusat semburan pergerakannya lebih lamban (Zulkarnain, 2010).
- c. Menurut penelitian geofisika dengan metoda georadar, geolistrik, dan seismik pantul mengindikasikan adanya sejumlah retakan di Siring bagian barat, Ketapang, Mindi, dan Kali Tengah. Retakan-retakan tersebut akan membentuk jalan dimana gas muncul ke permukaan atau biasa disebut munculnya bubble (Zaennudin & dkk, 2010).
- d. Pada tahun 2018 adapun kondisi geografis pada daerah penelitian berdasarkan tutupan lahan maka didapatkan penjelasan bahwa pada tahun 2017, dimana Kuadran I terletak di Kecamatan Tanggulangin dan porong, kecamatan Porong wilayahnya didominasi oleh lahan pertanian sebesar 52%, sedangkan permukiman sebesar 18%, tambak 13%, dan tanah lapang sebesar 10%; Pada kuadran II terletak di kecamatan Tanggulangin wilayahnya didominasi sebagian besar berupa lahan pertanian, yaitu sebesar 49%, sedangkan permukiman sebesar 26%, dan tambak sebesar 13%, lalu pada kuadran III merupakan kecamatan Porong Sedangkan kuadran IV terletak di kecamatan Jabon wilayahnya didominasi sebagian besar oleh tambak, yaitu sebesar 48%, sedangkan pertanian sebesar 18% dan permukiman sebesar 17% (Purnawali, 2018).

Hasil penelitian menunjukkan Kuadran I memiliki rata-rata penurunan tanah tertinggi dikarenakan jumlah pemukiman yang banyak karena berada di

antara kecamatan tanggulangin dan kecamatan porong, pada kuadran IV memiliki rata-rata tertinggi ke 2 dikarenakan kecamatan jabon berada di wilayah pesisir . Dimana wilayah pesisir pantai memiliki kondisi tanah yang lebih rendah dari permukaan air laut. Wilayah yang memiliki penurunan terkecil terletak di kuadran III dikarenakan kuadran tersebut merupakan daerah kecamatan porong yang memiliki tanah lapang terbanyak se kabupaten Sidoarjo.

4.4 Integrasi Penelitian dengan Al- Qur'an dan Hadist

Al-Quran merupakan kitab sempurna yang memberikan petunjuk dan membimbing kita dalam menuntut ilmu. Dalam al-Quran yang telah diturunkan sejak abad ke-14 menjelaskan tentang fakta ilmiah yang banyak ditemukan di abad ini. Berikut ini akan dibahas dalam ayat-ayat Alquran tentang pemeliharaan lingkungan serta larangan berbuat kerusakan di muka bumi ini yang akibatnya bisa fatal bagi kehidupan manusia itu sendiri.

Yang pertama adalah Al-Qur'an Surat Shad (38): 28 yang menerangkan bahwa Allah menciptakan bumi, langit dan di antara keduanya dengan baik. Penciptaan alam semesta ini telah didesain sedemikian rupa agar manusia dapat memanfaatkan dan menikmatinya secara maksimum. Hanya orang-orang yang kufur (mengingkari) nikmat Allah sajalah yang berburuk sangka terhadap apa yang diciptakan oleh Allah sehingga Allah marah dan menyumpah mereka masuk ke dalam neraka. Sementara mereka yang beriman dan beramal saleh atau orang-orang yang bertakwa akan diperlakukan secara berbeda dari mereka yang kufur

yaitu mereka akan masuk surga yang nyaman, sebagai bentuk ke-Mahaadilan Allah.

أَمْ نَجْعَلُ الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ كَالْمُفْسِدِينَ فِي الْأَرْضِ ۗ أَمْ نَجْعَلُ الْمُتَّقِينَ كَالْفُجَّارِ ۚ ٢٨

Artinya : “Patutkah Kami menganggap orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal yang saleh sama dengan orang-orang yang berbuat kerusakan di muka bumi? Patutkah (pula) Kami menganggap orang-orang yang bertakwa sama dengan orang-orang yang berbuat maksiat?” (QS. Shad 28).

Dalam Tafsir Hidayatul Insan bi Tafsiril Qur'an menjelaskan bahwa Allah SWT membedakan perlakuan kepada orang beriman dan orang kafir. Apakah pantas semua manusia diperlakukan sama oleh Nya dimana orang-orang yang beriman dan mengerjakan kebajikan serta percaya akan keesaan Nya dibandingkan dengan orang-orang yang berbuat kerusakan di bumi dan tidak mau mengikuti petunjuk Nya. Allah SWT telah menurunkan kitab Al-Qur'an kepada Nabi Muhammad dengan penuh berkah agar orang-orang dapat menghayati dan memahami setiap ayatnya sehingga dijadikan pelajaran dan mengamalkan kandungannya (Marwan Hadidi bin Musa, 2010).

Dalam Tafsir Al Misbah menjelaskan Apakah sesuai dengan hikmah (kebijakan) dan keadilan Nya lalu menganggap sama antara orang-orang Mukmin yang berbuat baik dan orang-orang yang membuat kerusakan di muka bumi. Dan apakah patut bagi Nya menganggap sama antara orang-orang yang takut akan siksa Kami dan orang-orang yang keluar dari ketentuan hukum Nya (Quraish Shihab, 2014)

Dalam kedua tafsir diatas dapat diambil pelajaran bahwa hendaknya kita berbaik sangka tidak berburuk sangka kepada Allah atas segala yang diciptakan-Nya di muka bumi ini, yaitu Allah telah menciptakan alam ini untuk kenyamanan

dan kesejahteraan manusia. Sehingga kita hendaknya beriman kepada Allah dan berbuat baik di muka bumi ini. Berbuat baik disini contohnya adalah tidak mengeksploitasi alam secara berlebihan. Selain itu, hendaknya kita tidak berburuk sangka terhadap Allah atas apa yang diciptakan-Nya. Jika ada yang berburuk sangka terhadap Allah atas apa yang diciptakan-Nya, maka Allah akan murka dan mengategorikan orang tersebut sebagai orang yang kufur, yang balasannya adalah masuk neraka.

Selain ayat di atas, penekanan tentang larangan berbuat kerusakan di muka bumi dan kepastian bahwa Allah akan memberikan rezeki kepada manusia yang berbuat baik dan bersyukur di muka bumi ini dijelaskan dalam Alquran Surat Al-A'raf (7): 56 sebagai berikut :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). (QS Al A'raf 56)

Dalam Tafsir Hidayatul Insan bi Tafsiril Qur'an menjelaskan bahwa Allah menekankan larangan dalam merusak bumi jika sudah terlanjur melakukannya maka diperintahkan agar manusia berdoa kepada Nya dengan rasa takut sehingga terdorong untuk menaati-Nya, dan berharap agar dikabulkan permintaan maafmu. Sesungguhnya rahmat dan karunia Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan. Allah yang meniupkan dan menggerakkan angin sebagai kabar gembira, yang ditandai dengan turunnya hujan, dan angin pun membawa ke suatu daerah yang tandus agar tanaman menjadi subur. Kemudian Allah menumbuhkan macam buah-buahan dan tanaman yang beragam warna dan rasanya (Marwan Hadidi bin Musa, 2010).

Dari tafsir tersebut, dapat dipahami bahwa Allah memperhatikan kesejahteraan manusia di muka bumi ini dengan, misalnya diturunkannya hujan, yang memungkinkan pepohonan tumbuh dan menghasilkan buah yang bisa dinikmati manusia. Dengan ini semua, diharapkan manusia dapat bersyukur dan berdoa dengan penuh harap kepada Allah, senantiasa memelihara karunia Allah dan tidak berbuat kerusakan.

Didalam isi Isi kandungan al-Quran juga terdapat banyak ilmu pengetahuan yang membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap dengan teknologi canggih seperti sekarang ini. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam memanfaatkan apa yang diciptakan-Nya dengan tidak lupa mensyukurinya. . Adapun dengan pemanfaatan teknologi radar yang sudah tertera dalam QS. Al-anbiya ayat 79 sebagai berikut :

فَفَهَّمْنَاهَا سُلَيْمَانَ ۗ وَكُلًّا آتَيْنَاهُ حُكْمًا وَعِلْمًا ۗ وَسَخَّرْنَا مَعَ دَاوُدَ الْجِبَالَ يُسَبِّحْنَ وَالطَّيْرَ ۗ وَكُنَّا فَاعِلِينَ ۗ ٧٩

Artinya : Dan Kami memberikan pengertian kepada Sulaiman (tentang hukum yang lebih tepat); dan kepada masing-masing Kami berikan hikmah dan ilmu, dan Kami tundukkan gunung-gunung dan burung-burung, semua bertasbih bersama Daud Dan Kamilah yang melakukannya.

Dalam Tafsir Al-Mukhtasar menyatakan bahwa dalam kata **وَكُلًّا آتَيْنَاهُ حُكْمًا وَعِلْمًا** (dan kepada masing-masing mereka telah Kami berikan hikmah dan ilmu) bermakna Nabi Daud as dan Nabi Sulaiman as telah diberikan hikmah dan ilmu yang banyak. Lalu kata **وَسَخَّرْنَا مَعَ دَاوُدَ الْجِبَالَ يُسَبِّحْنَ** (dan telah Kami tundukkan gunung-gunung, semua bertasbih bersama Daud) menjelaskan tentang jika Nabi Daud bertasbih maka gunungpun ikut bertasbih secara berulang-ulang. Dan dalam kata **وَالطَّيْرَ** (serta burung-burung) bahkan Burung yang terbang juga ikut bertasbih bersamanya. Selanjutnya dalam kata **وَكُنَّا فَاعِلِينَ** (Dan kamilah yang melakukannya)

yang dimaksud yaitu Allah SWT telah mereka memberikan pemahaman serta hikmah agar mereka mentaatinya (Shalih bin Abdullah bin Humaid, 2006).

Dalam Tafsir al Misbah menerangkan untuk memahamkan kepada Sulaymân bagaimana seharusnya berfatwa. Dan keduanya diberi ilmu pengetahuan dan kebijaksanaan tentang segala hal ihwal kehidupan. Lalu memerintahkan Dâwûd bersama gunung dan burung untuk tunduk dan menyucikan Allah dari segala sesuatu yang tidak pantas untuk-Nya. Semua itu dilakukan dengan kekuasaan yang tidak terkalahkan (Quraish Shihab, 2014).

Berdasarkan kedua tafsir di atas merujuk pada sifat-sifat mulia diberikan pada Nabi Daud as dan Sulaiman as. Mereka dianugerahi ilmu dan pemahaman oleh Allah SWT beserta hikmahnya. Maka dapat disimpulkan bahwa jika manusia dianugerahi ilmu harus diterapkan dengan baik seperti halnya ilmu dalam pemanfaatan teknologi radar yang sampai saat ini terus berkembang dan digunakan.

Manusia sebagai khalifah Allah di bumi sebagai penjaga alam raya agar tetap asri dan nyaman, karena bumi dengan segala ekosistemnya adalah untuk digunakan manusia yang Allah menjadikan bumi sebagai tempat bagi umat manusia. Bila kerusakan-kerusakan diperbuat manusia, maka sunnatullah akan berperanan di situ dengan bentuk musibah seperti; banjir, tanah longsor, amblesan tanah, dan sebagainya sebagai bagian dari sebab-akibat dari dampak yang diperbuat manusia itu sendiri. Kerusakan alam seperti penebangan liar, perusakan ozon dari berbagai aktivitas manusia akan menyengsarakan manusia itu sendiri. Dampak yang dilakukan manusia itu akan merusak bumi sebagai tempat tinggal

manusia. Langit bumi dan air adalah satu tatanan ekosistem untuk manusia hidup dan berkembang biak.

Allah menciptakan kekayaan alam sepertiminyak bumi yang ada di Sidoarjo, yang disalah gunakan oleh manusia sehingga terjadi lumpur lapindo dan semakin bertambahnya tahun justru membuat bencana lain terjadi yaitu penurunan tanah dimana pada penelitian kali ini lumpur lapindo, Sidoarjo dijadikan sebagai objek penelitian. Al-Qur'an menekankan kepada manusia untuk selalu menjaga, melestarikan dan memanfaatkan ilmu yang kita punya untuk mempelajari semua yang ada di jagat raya ini termasuk bentang alam dengan melakukan riset atau penelitian-penelitian yang berguna bagi pelestarian alam, sehingga bencana alam tidak akan pernah lagi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa deformasi di lumpur lapindo akibat keluarnya aliran lumpur ke atas permukaan, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pola deformasi yang didapatkan dari hasil *DInSAR* pada penelitian ini menunjukkan bahwa pada tahun 2014-2020 cenderung mengalami *subsidence*. Hanya saja di tahun 2015 pada kuadran I dan IV mengalami *uplift* serta pada tahun 2016 kuadran II juga mengalami *uplift*.
2. Deformasi yang terjadi pada tahun 2014 mengalami penurunan tanah sebesar 1,66 cm, pada 2015 memiliki penurunan tanah sebesar 0,05 cm, lalu pada tahun 2016 memiliki nilai penurunan tanah sebesar 0,48 cm, setelah itu pada tahun 2017 mengalami penurunan tanah sebesar 0,71 cm, dan tahun 2018 mengalami penurunan tanah sebesar 2,81 cm, pada tahun 2019 mengalami penurunan sebesar 1,22 cm, dan yang terakhir pada tahun 2020 mengalami penurunan tanah yang sangat signifikan yaitu sebesar 5,58 cm.

5.2 Saran

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

1. Sebaiknya gunakan teknik yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya, yaitu teknik PS-InSAR (Persistent Scatterer Interferometry SAR), karena pengolahan data SAR dengan teknik DInSAR masih memiliki kesalahan atau dekorelasi berupa dekorelasi temporal, atmosferik, serta noise.

2. Dianjurkan untuk penelitian selanjutnya menyajikan data GPS serta melakukan uji validasi untuk mengetahui keakuratan nilai deformasi hasil dari pengolahan teknik DInSAR.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., & dkk. (2008). *Subsidence and Uplift of Sidoarjo (East Java) Due to the Eruption of The Lusi Mud Volcano (2006-present)*. Deguchi School Springer, Verlag.
- Alaska Satellite Facility.(<https://vertex.daac.asf.alaska.edu> Diakses 14 Maret 2021).
- Al-Mahalli, Jalaluddin dan Jalaluddin As-Suyuti, Tafsir Al-Jalalain, diterjemahkan Bahrin Abubakar, Terjemahan tafsir Jalalain Berikut Asbabun Nuzul, Jilid 1. Bandung : Penerbit Sinar Baru Algensindo, 2008.
- Al-Qur'an dan Terjemahan. 2008. Bandung: Departemen Agama RI Diponegoro.
- Akbar, T.O. 2015. *Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Tingkat Ekonomi Menggunakan Kombinasi Metode DInSAR dan SIG*. Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Bemmelen Van, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Martinus Nyhoff. Netherland: The Haque.
- Budyanto, Eko. 2016. *Sistem Informasi Geografis dengan Quantum GIS*. Andi Yogyakarta: D.I Yogyakarta
- Bukhori, I. 2020. *Model Estimasi Uplift dan Subsidence dari Hasil Ukuran GPS Menggunakan Metode Polinomial di Area Lumpur Sidoarjo*. Surabaya : Jurusan Teknik Geomatika ITS.
- Cahyono, Amru Estu dan Teguh Hariyanto. 2010. Evaluasi Hasil Pemantauan Land Subsidence di Area Sekitar Tanggul Lumpur Sidoarjo dengan Teknologi SIG. *Jurnal GEOID*. Vol 06 No 62. Hal (117-122).

- Curlander, J. C., dan R. N. McDonough. 1991. *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. New York.
- Cyntia, I Putu Pudja. 2018. *Analisis Penurunan Muka Tanah DKI Jakarta dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika. Jakarta : STMKG
- Darminto, M.R. 2015. *Evaluasi Sebaran Deformasi Tanah Daerah Lumpur Sidoarjo dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*. Surabaya : Teknik Geomatika ITS.
- Dewi,Cinantya Nirmala,dkk.2010.*Penerapan Metode Audio Magnetotellurik dan Magnetotellurik untuk Identifikasi Litologi Bawah Permukaan Pada Lapangan Panas Bumi X*.Jurnal Penelitian.UB-LIPI.
- Doukas.2004.*Monitoring and Analysis of Ground Subsidence due to Water Pumping in the Area of Thessaloniki*.Hellas:Greece.
- 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.2000.Foreshortening.Dari<URL:http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC
- ESA.2000.Layover.Dari<URL:http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/layover.htm>. Dikunjungi pada tanggal 20 Januari 2021, jam 09.00.
- ESA.2000.Shadow.Dari<URL:http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/shadow.htm>. Dikunjungi pada tanggal 20 Januari 2021, jam 09.00.

ESA.2000.SlantRange/GroundRange.Dari<URL:http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC

ESA. 2013. Sentinel-1 User Handbook, diunduh 3 Mei 2017 dari https://sentinel.esa.int/document/247904/685163/Sentinel1_User_Handbook

European Space Agency. 2013. *ESA Sentinel 1 Handbook*. European Space Agency.

Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007a. *InSAR Principles : Guidelines For SAR Interferometry Processing And Interpretation*. The Netherlands: ESA Publications.

Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007b. *InSAR Processing : A Practical Approach*. The Netherlands: ESA Publications.

Handoko, E.Y., A. Kurniawan, dan Angger S.M. 2011. *Apakah Surabaya Terjadi Land subsidence? Kajian Awal Land Subsidence Surabaya*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2011. Teknik Geomatika ITS. Surabaya.

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- Delf University of Technology. Lecture Note.

Hasanudin Z., M.A, Abidin, Prihadi, B., Andreas, H. dan Gamal, M. 2007.*The Deformation an Area a Newly Born Mud Vulcano in Sidoarjo (East Java, Indonesia)*.Institute Technology of Bandung.

- Indarto. 2014. Teori dan Praktek Penginderaan Jauh. Yogyakarta : C.V Andi Offset.
- Ismullah, I.H. 2004. *Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (INSAR) Data Satelit*. Prosiding ITB Sains & Tek. 36A, 1:11-32.
- Kukuh Prakoso Sudarsono dkk. 2017. *Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Berdasarkan Data Pengamatan GPS April, Mei, Juni dan Oktober 2016*. Jurnal Teknik ITS. Vol 6 No 1. Surabaya : ITS.
- Kusman, A. 2008. *Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR)*. Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Marwan, Hadidi bin Musa. 2010. Hidayatul Insan Bi Tafsiril Qur'an. Tafsir Al-Qur'an Al-Karim Jilid 2. Diakses pada 10 Oktober 2021
- 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.
- P. W. Francis, G. Wadge, and P.J. Mouginiis-Mark, *Satellite monitoring of volcanoes*, Dalam R. Scarpa and R.I. Tilling (eds.) Monitoring and mitigation of volcano hazards, Springer-Verlag: New York (1996) p. 257-298.
- Prasetya, Alfian Budi, dkk. 2017. *Pemantauan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2016 Menggunakan Perangkat Gamit 10.16*. Jurnal Geodesi UNDIP. Vol 6. No 2. Semarang : UNDIP.

- Purna, T. 2009. *Pemanfaatan Metode InSAR untuk Pemantauan Deformasi Gunung Api dan Penurunan Tanah*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Purnawali, Hery Setiawan. 2018. *Analisis Kerentanan Bencana Banjir di Kabupaten Sidoarjo dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh*. Surabaya : Teknik Geomatika, ITS.
- Santosa, S., dan Suwarti, T. 1992. *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa*. 1:100.000. Bandung: P3G
- Sendy Ayu Yulyta dkk. 2015. *Studi Pengamatan Penurunan dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode Differential Interferometri Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Studi kasus : Lumpur Lapindo,Sidoarjo)*. Jurnal GEOID. Vol 11 No 1. Surabaya : ITS
- Sharav, A. 2003. *Differential SAR Interferometry for crustal deformation study*. The Netherlands : International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede.
- Sri Hardiyanti Purwadi. dan Tjaturahono Budi Sanjoto. 2008. *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*. Jakarta: LAPAN dan UNNES.
- Sudarsono, U. dan Sudjarwo, I. B. 2007. *Aspek geologi teknik lumpur Sidoarjo, Jawa Timur* (dalam persiapan terbit di Buletin Geologi Tata Lingkungan).
- Sudarsono, U. dan Sudjarwo, I. B. 2008. *Amblesan di Daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur*. Bandung: Pusat Lingkungan Geologi.
- Suliantara, & Febriono, P. D. (2008). *Monitoring Semburan Lumpur Sidoarjo*. Jakarta: Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Minyak dan Gas Bumi (LEMIGAS).

- Sumintadireja, Prihadi. 2007. *Mud Extrusion at Banjarpanji Areas, Sidoarjo, East Java*. Institute Technology of Bandung.
- Tomiyama, N. 2010. "Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry And Agriculture". ISPRS Students Consorsium And WG VI/5 5th Summer School, Hanoi, Vietnam, 6-10 November.
- Usai, S. 2001. *A New Approach for long Term Monitoring of Deformation by Differential SAR Interferometry*. The Netherlands: Delf University Press.
- Widodo, A.D. 2009. *Penanggulangan Semburan Lumpur Sidoarjo*. Surabaya : Pusat Studi Kebumian dan Bencana (PSKB) Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Zalite K, Voormansik K. 2016. *Differential and Persistent Scatterer SAR Interferometry*. Tartu Observatory. Space Research Center.
- Zaennudin, A., & dkk. (2010). *Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Badan Geologi .
- Zulkarnain, A. (2010, Mei Rabu). Retrieved from news.okezone.com
- <http://news.okezone.com/read/2010/05/05/340/329735/penurunan-tanahdi-lumpur-lapindo-sepanjang-1-5-km>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penelitian

1. Data Penurunan Tanah dari tahun 2014-2020

Tahun 2014

2014				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	-2.347	-2.322	-1.667	-1.067
2	-2.306	-2.484	-1.487	-1.384
3	-2.315	-2.346	-1.523	-1.534
4	-2.377	-2.14	0	-1.351
5	-2.119	-2.218	-1.63	-1.322
6	-2.158	-2.101	-1.649	-1.503
7	-2.49	-2.809	-1.428	-1.383
8	-2.2	-2.26	-1.183	-0.966
9	-2.158	-1.797	-1.002	-1.551
10	-2.2	-2.324	-0.986	-1.845
11	-2.098	-1.936	-0.73	-1.399
12	-1.872	-2.402	-0.418	-0.718
13	-1.683	-2.524	-0.507	-1.253
14	-1.657	-2.576	-0.672	-0.827
15	-1.453	-2.2	-0.656	-0.922
16				-0.55
Rata-Rata	-2.09553	-2.29593	-1.03587	-1.22344

Tahun 2015

2015				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	0.3292	0.7133	-0.41	0.6081
2	0.4457	0.2668	-0.198	0.5359
3	0.2601	0.2165	-0.52	0.4324
4	0.2598	0.5291	0.01	0.4106
5	0.3956	0.1716	-0.207	0.3449
6	0.3306	0.1474	-0.105	0.1533
7	0.2057	-0.078	-0.521	-0.061
8	0.5531	-0.418	-0.213	0.1971

9	0.3186	-0.358	-0.814	-0.37
10	0.2977	-0.814	-0.623	-0.044
11	0.2944	-0.276	-0.719	-0.099
12	0.289	0.2465	-0.536	0.0203
13	0.4047	-0.769	-0.995	-0.829
14	-0.061	-0.549	-1.017	-0.393
15	0.3654	0.1482	-0.686	-0.5641
16				-0.068
	0.31269	-0.05484	-0.5036	0.01715

Tahun 2016

2016				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	0.0724	-0.149	-0.567	-1.162
2	0.0649	-0.211	-0.502	-1.232
3	-0.151	-0.201	-0.917	-1.223
4	-0.129	-0.365	-0.281	-1.437
5	0.1695	-0.484	-0.541	-1.307
6	0.1379	-0.695	-0.645	-1.319
7	-0.181	0.0155	-0.915	-1.424
8	-0.768	0.8005	-0.15	-0.882
9	-0.124	0.6617	-0.312	-1.296
10	0.1021	0.0788	-0.124	-1.669
11	-0.036	0.8528	-0.133	-1.432
12	0.0734	-0.134	0.2527	-1.578
13	-0.5634	0.894	0.2133	-1.718
14	-1.772	0.0859	-0.2	-0.968
15	-1.227	-0.311	-0.392	-1.673
16				-1.119
	-0.28875	0.05594	-0.34753	-1.33994

Tahun 2017

2017				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	-0.388	-0.071	-0.916	-0.998

2	-0.41	-0.605	-0.755	-1.153
3	-0.625	-0.638	-1.142	-1.214
4	-0.532	-0.257	-0.652	-1.06
5	-0.42	-0.517	-0.819	-1.001
6	-0.456	-0.926	-0.816	-0.984
7	-0.632	-0.859	-0.922	-0.989
8	-1.211	-0.072	-0.517	-1.035
9	-0.619	-0.92	-0.497	-0.632
10	-0.542	-2.293	-0.144	-1.211
11	-0.67	-1.522	-0.219	-0.943
12	-0.604	-0.506	-0.478	-0.497
13	-1.094	-0.264	-0.217	-0.606
14	-1.459	-0.427	-0.212	-0.39
15	-1.015	-0.765	-0.188	-0.797
16				-0.354
	-0.7118	-0.70947	-0.56627	-0.998

Tahun 2018

2018				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	-2.587	-2.257	-3.532	-3.651
2	-2.893	-2.434	-3.217	-3.629
3	-2.968	-2.739	-3.379	-3.563
4	-2.662	-2.619	-3.07	-3.618
5	-2.404	-2.355	-3.213	-3.542
6	-2.41	-2.81	-3.497	-3.376
7	-2.686	-2.183	-3.223	-3.071
8	-3.518	-2.138	-2.607	-3.328
9	-3.063	-3.279	-2.494	-2.889
10	-2.84	-3.48	-1.879	-3.163
11	-3.123	-3.813	-1.882	-2.478
12	-2.102	-2.536	-2.427	-2.521
13	-3.52	-2.425	-1.72	-2.105
14	-3.297	-3.581	-1.356	-1.66
15	-3.528	-3.019	-1.236	-2.094
16				-2.11
	-2.587	-2.77787	-2.58213	-2.92488

Tahun 2019

2019				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	-0.886	-0.244	-0.14	-3.409
2	-1.805	-0.697	-0.403	-2.901
3	-1.483	-0.791	-0.593	-2.315
4	-2.512	-0.328	-0.566	-2.392
5	-1.895	-1.057	-0.787	-2.374
6	-2.12	-1.198	-1.407	-2.079
7	-3.206	-0.829	-0.855	-1.638
8	-4.445	-0.507	-0.648	-1.705
9	-1.833	0.5498	-0.7	-0.973
10	-1.79	-0.598	-0.582	-1.774
11	-2.607	0.3014	-0.347	-1.174
12	-1.908	-0.572	-0.947	-1.096
13	-2.813	-0.385	-0.362	-0.687
14	-2.749	0.1379	0.3668	0.3864
15	-3.749	-1.119	0.9888	-0.2019
16				-0.8
	-2.38673	-0.48906	-0.46543	-1.57078

Tahun 2020

2020				
POLIGON	KUADRAN			
	1	2	3	4
1	-6.566	-5.17	-4.073	-5.555
2	-6.769	-5.663	-3.843	-5.604
3	-6.073	-6.132	-4.19	-5.613
4	-8.957	-5.215	-3.771	-5.713
5	-7.96	-5.793	-3.85	-5.569
6	-8.425	-6.17	-3.751	-5.689
7	-9.67	-6.06	-3.872	-5.609
8	-12	-5.321	-3.762	-5.778
9	-6.396	-4.106	-3.633	-5.649
10	-7.306	-5.397	-3.196	-5.866
11	-9.459	-3.882	-3.713	-5.334
12	-8.101	-6.1	-3.634	-4.396
13	-7.669	-5.264	-3.762	-5.425

14	-5.188	-5.844	-3.844	-4.098
15	-5.398	-6.075	-4.016	-4.851
16				-4.906
	-7.72913	-5.47947	-3.794	-5.35344

2. Data Penduduk Kabupaten Sidoarjo (jiwa)

Kuadran	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	10.267	10.362,5	10.470,5	11.259,6	10.289	10.756	13.860,5
2	22.208	18.496	17.007	18.605	23.913	21.154	25.556
3	54.596	51.214	49.793	53.720	55.896	54.015	63.543
4	22.121	22.355,5	22.315,5	23.855,5	21.694	22.105	24.126,5
Total	109.192	102.428	99.586	107.440	111.792	108.030	127.086

Lampiran 2. Desain Penelitian

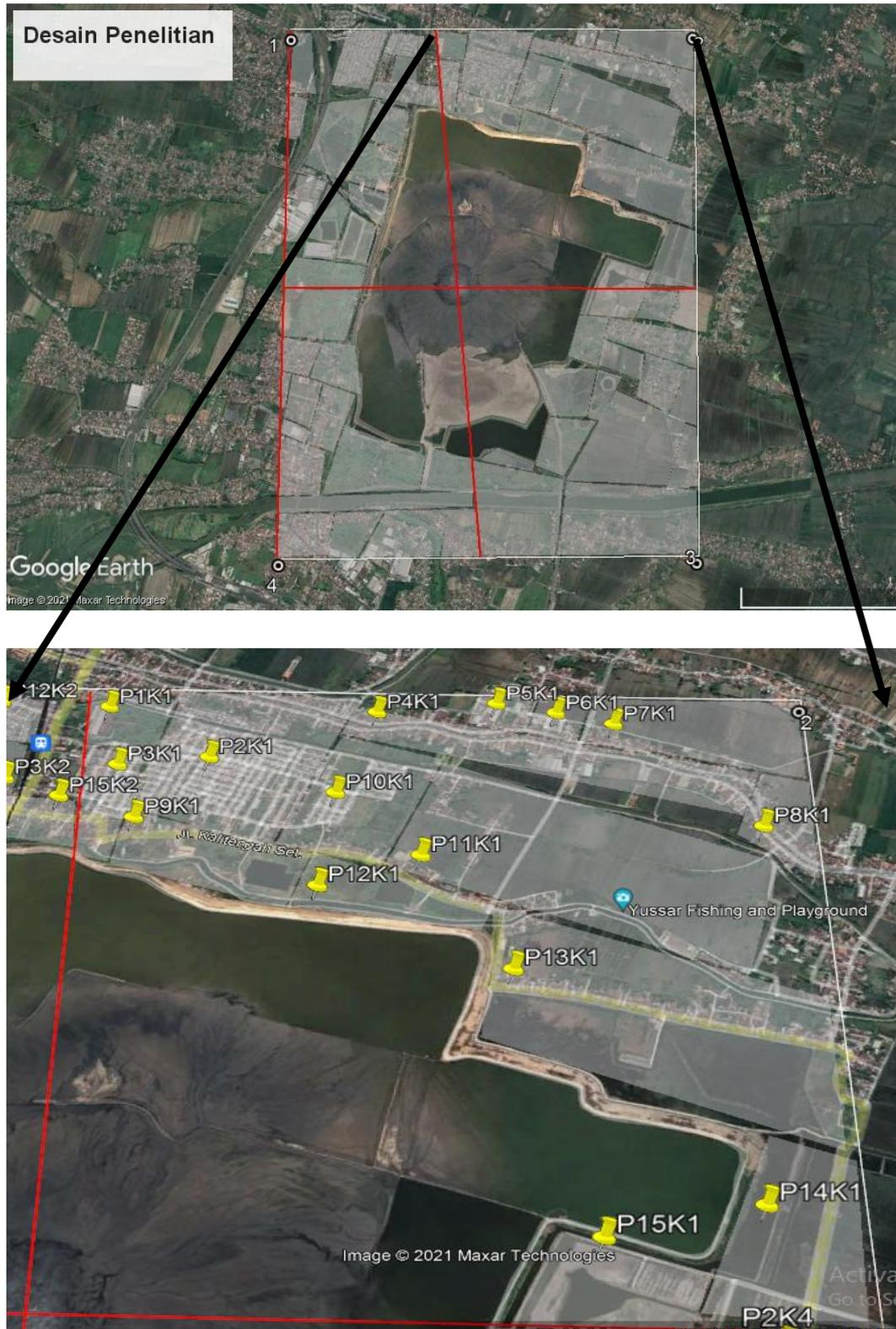
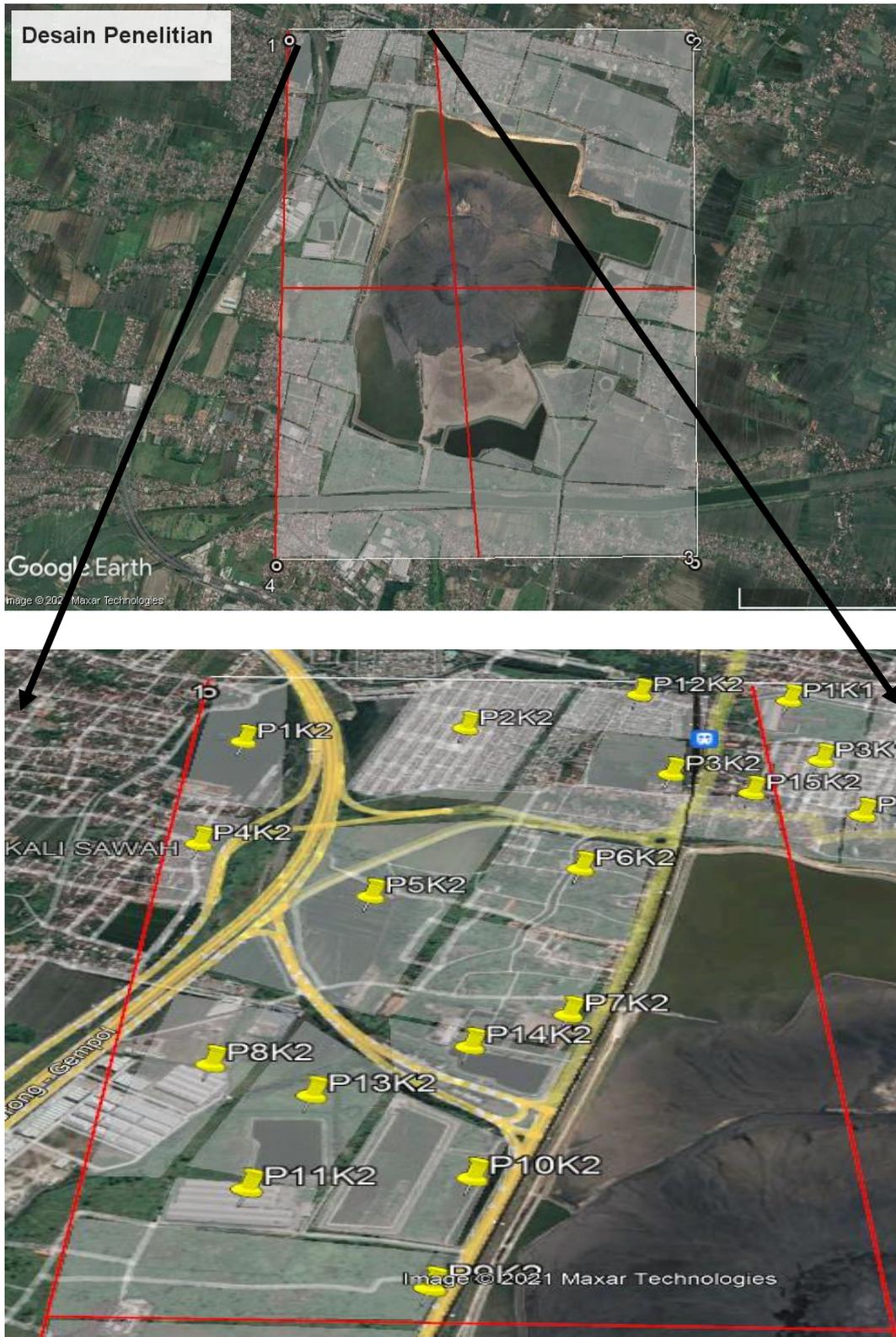
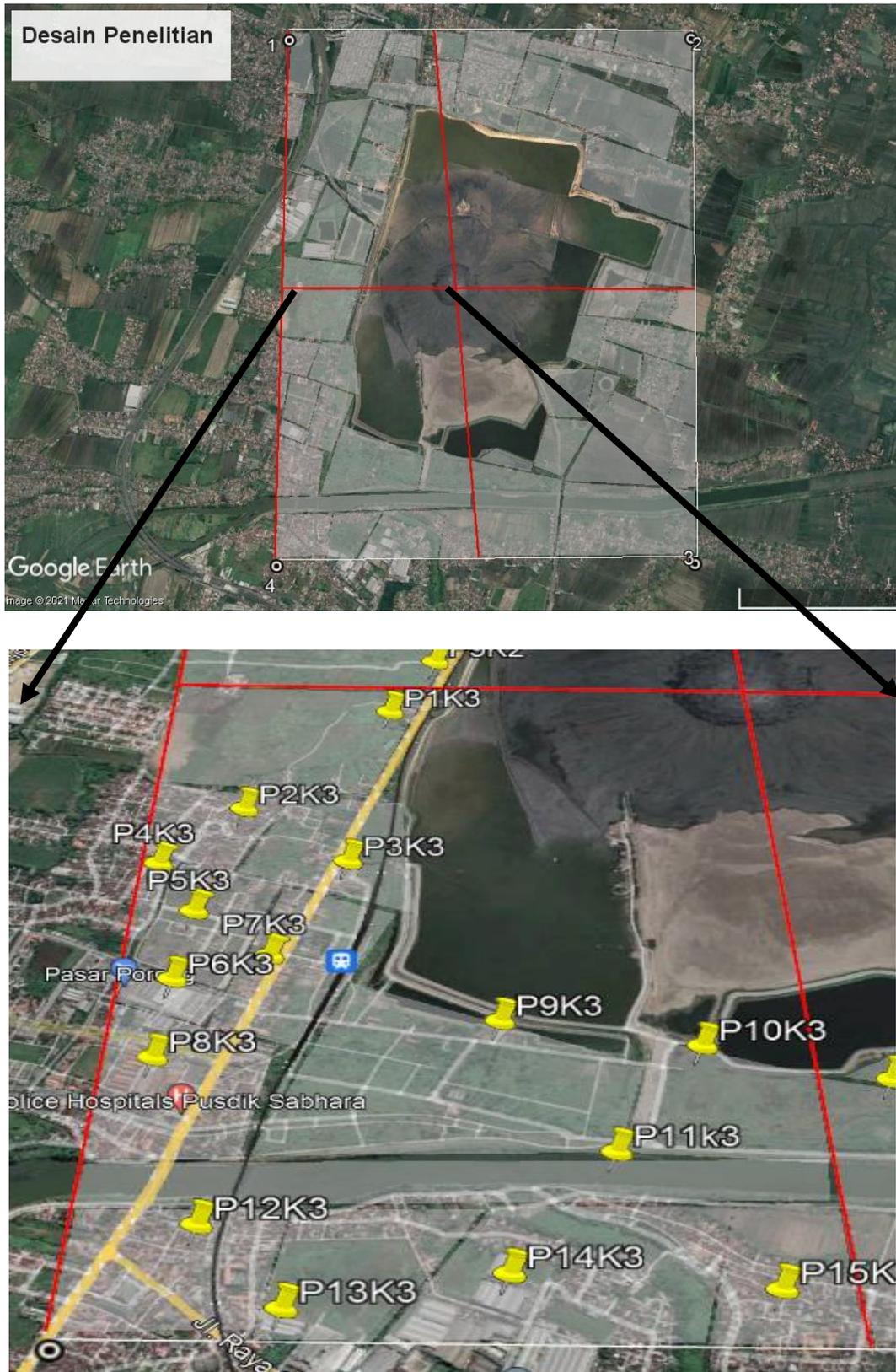


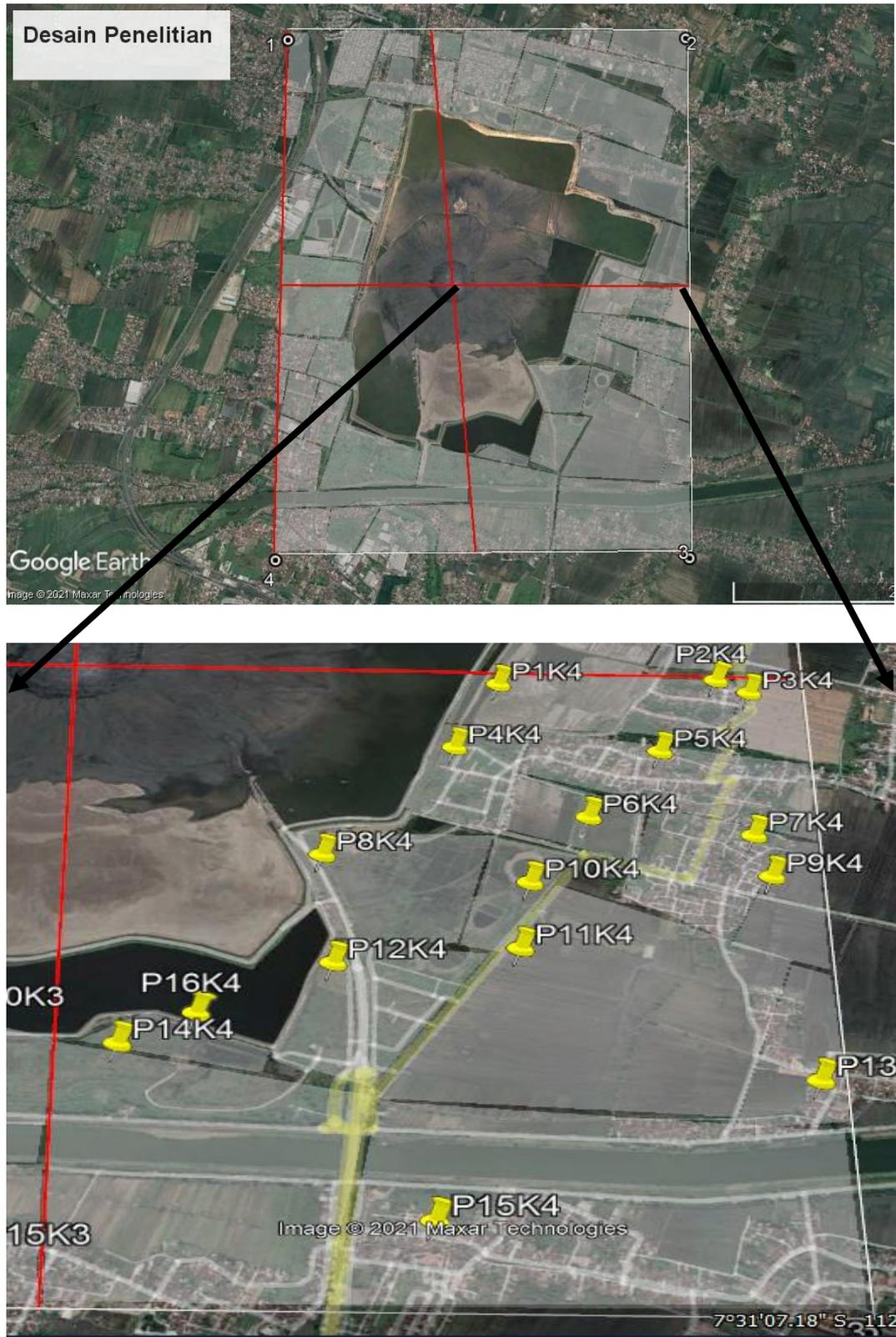
Foto 1. Daerah Penelitian Kuadran I



Gambar 2. Daerah Penelitian Kuadran II

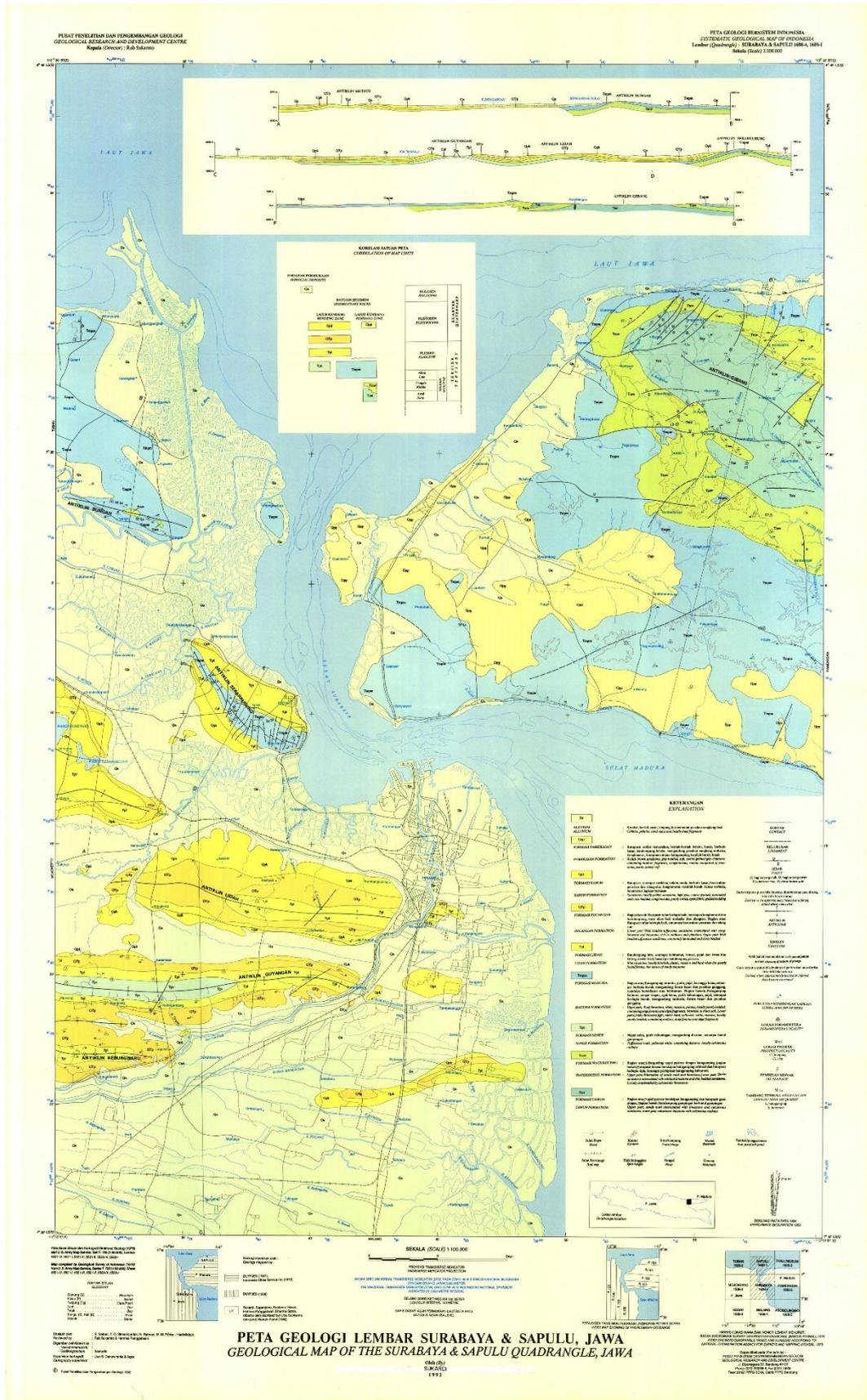


Gambar 3. Daerah Penelitian Kuadran III



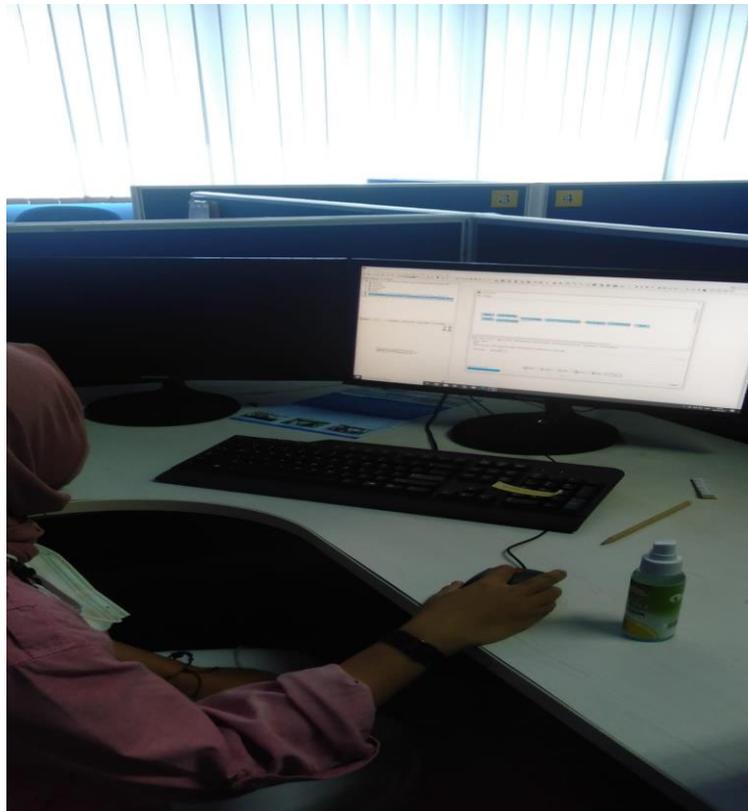
Gambar 4. Daerah Penelitian Kuadran IV

Lampiran 3. Peta Geologi Lembar Surabaya, Sapulu

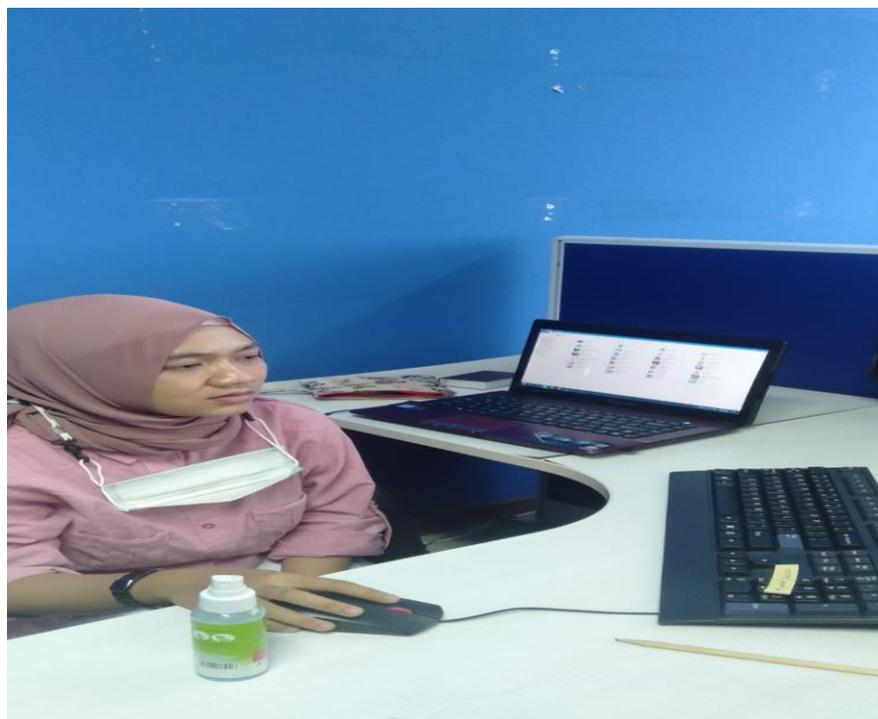


Lampiran 4. Foto Kegiatan

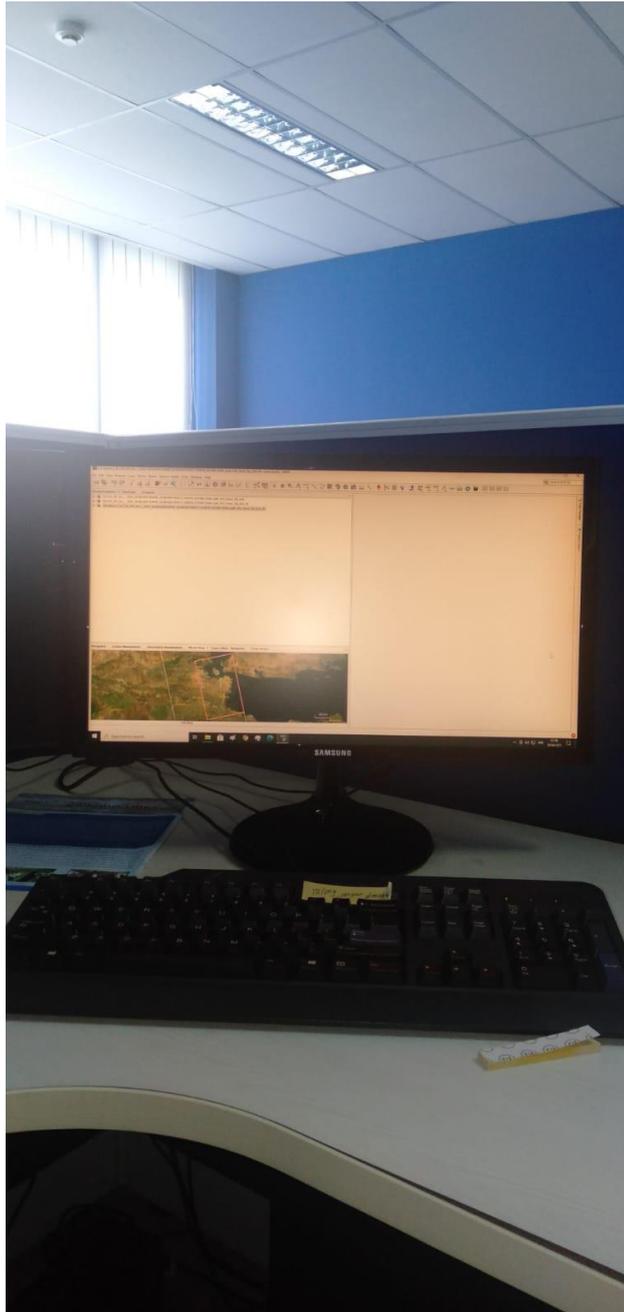
1. Penelitian Secara Offline di Kantor BPPT



Gambar 1. Sedang Mengolah Data Di Kantor BPPT

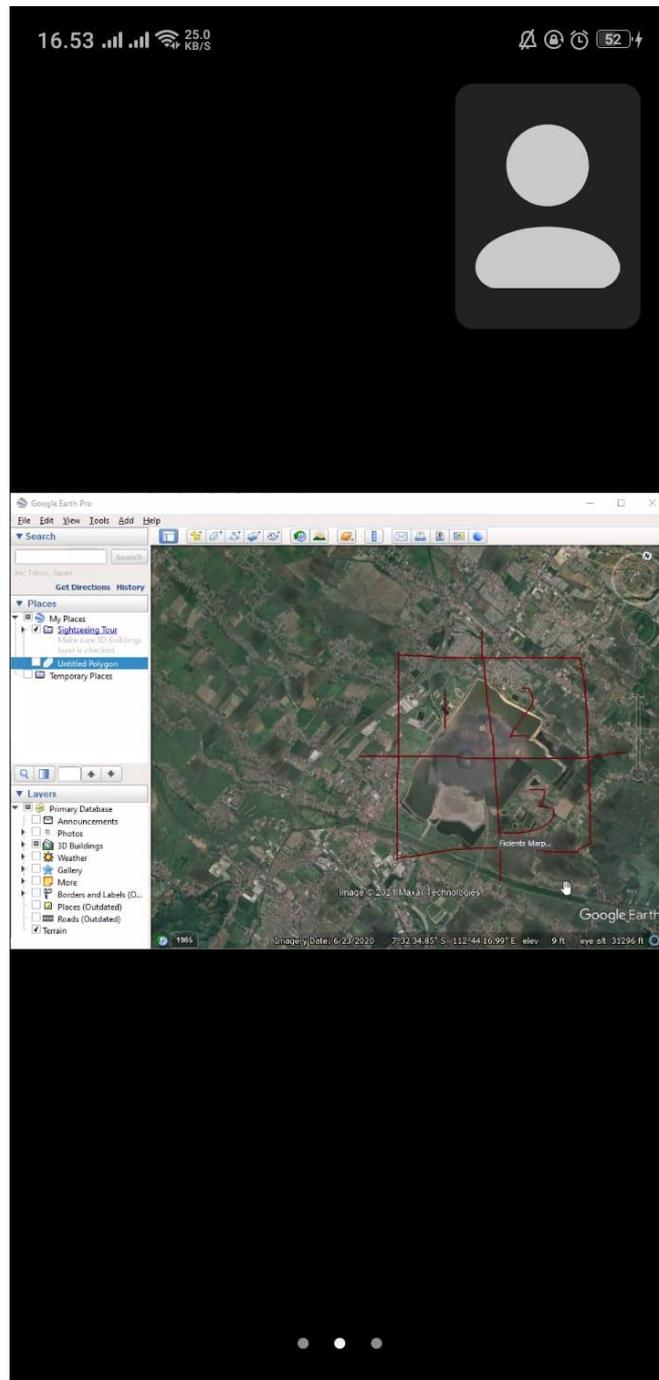


Gambar 2. Sedang Menunggu Proses *Running* Data



Gambar 3. Tampilan Komputer milik BPPT

2. Penelitian secara online



Gambar 4. Bimbingan online pertama mengenai daerah penelitian

The screenshot displays a Zoom meeting interface. At the top, the status bar shows the time 16:41, signal strength, Wi-Fi, and a data speed of 44.0 KB/S. The Zoom logo and a 'Leave' button are visible. A 'REC' indicator is present. A video feed of a woman is shown in the top right. The main content is a Microsoft Excel spreadsheet with a line chart. The chart has a title 'rata7' and shows data points from 2013 to 2021. Handwritten annotations in red and blue ink are present on the chart and in the spreadsheet cells. The bottom of the screen shows Zoom controls: Mute, Start Video, Share, Participants (4), and More.

Year	Value
2013	-2.8145688
2014	-1.22800313
2015	-5.589009
2016	0.0372896
2017	-1.22800313
2018	-0.018131
2019	-18.3113
2020	0.01914
2021	19.14186

Gambar 5. Bimbingan online terakhir setelah selesai seluruh pengolahan data

3. Survey Lapangan



Gambar 6. Foto Bersama Narasumber di Desa Kalidawir



Gambar 7. Foto Bersama Narasumber di Desa Glagaharum



Gambar 8. Kunjungan ke PPLS Surabaya



Gambar 9. Salah satu Industri di sekitar Lumpur Lapindo



Gambar 10. Salah satu rumah yang mengalami keretakan



Gambar 11. Sungai yang terdapat di Desa Kalidawi



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : HESTININGSIH
NIM : 17640038
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pemetaan Zona Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)
dengan Menggunakan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus : Lumpur Lapndo, Sidoarjo)
Pembimbing I : Irjan, M.Si
Pembimbing II : Dr. Erna Hastuti, M.Si

No	Hari/Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	Senin/11 Januari 2021	Konsultasi Bab I, II dan III	
2	Senin/25 Januari 2021	Konsultasi Bab I, II dan III	
3	Jumat/5 Februari 2021	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
4	Jumat/10 September 2021	Konsultasi Bab IV	
5	Senin/ 27 September 2021	Konsultasi Kajian Agama	
6	Kamis/30 September 2021	Konsultasi Bab IV,V dan ACC	
7	Kamis/16 Desember 2021	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
8	Jumat/24 Desember 2021	Konsultasi Semua Bab dan ACC	

Malang, 20 Desember 2021
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,



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