TUGAS AKHIR – RM 184831

ANALISIS DEFORMASI KOTA SURABAYA TAHUN 2017-2019 AKIBAT AKTIVITAS SESAR KENDENG DENGAN METODE *PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR* (PS-INSAR) DAN VALIDASI DATA GPS

TOIFATUL ULMA
NRP 03311640000058

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Dr. Filsa Bioresita S. T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – RM 184831

ANALISIS DEFORMASI KOTA SURABAYA TAHUN 2017-2019 AKIBAT AKTIVITAS SESAR KENDENG DENGAN METODE *PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR* (PS-INSAR) DAN VALIDASI DATA GPS

TOIFATUL ULMA
NRP 03311640000058

Dosen Pembimbing
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Dr. Filsa Bioresita, S.T., M. T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

UNDERGRADUATE THESIS – RM 184831

ANALYSING SURFACE DEFORMATION IN SURABAYA (2017-2019) DUE TO KENDENG FAULT ACTIVITY USING PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR (PS-INSAR) METHOD AND GPS DATA VALIDATION

TOIFATUL ULMA
NRP 03311640000058

Supervisor
Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Dr. Filsa Bioresita, S.T., M. T.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALISIS DEFORMASI KOTA SURABAYA TAHUN 2017-2019 AKIBAT AKTIVITAS SESAR KENDENG DENGAN METODE *PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR* (PS-INSAR) DAN VALIDASI DATA GPS

Nama Mahasiswa : Toifatul Ulma
NRP : 03311640000058
Jurusan : Teknik Geomatika FTSPK – ITS
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D.
Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

ABSTRAK

Kota Surabaya adalah ibu kota Provinsi Jawa Timur sekaligus kota padat penduduk terbesar kedua di Indonesia. Berdasarkan kondisi geologinya, Kota Surabaya dilewati oleh Sesar Kendeng yang merupakan sesar aktif dan dapat menimbulkan terjadinya gempa bumi. Adanya aktivitas dari Sesar Kendeng tersebut menyebabkan Kota Surabaya menjadi rawan terhadap pergerakan tanah atau deformasi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui deformasi secara berkala yang terjadi di Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng menggunakan metode PS-InSAR dengan validasi menggunakan data GPS. Data SAR yang digunakan, terdiri dari 33 citra Sentinel 1A tipe SLC dengan tahun akuisisi 2017-2019.

Hasil menunjukkan bahwa selama periode pengamatan, *mean Line of Sight* (LOS) *velocity* dalam rentang -50 mm/tahun hingga +20 mm/tahun dengan standar deviasi rata-rata 1,948 mm. Sebagian besar penurunan tanah atau *subsidence* terjadi di wilayah Surabaya bagian Utara dan Timur sedangkan Sebagian besar kenaikan tanah atau *uplift* terjadi di wilayah pusat Kota Surabaya (bagian Selatan dan Barat) yang dilewati jalur Sesar Kendeng. Berdasarkan analisa geologi, hasil tersebut sesuai dengan tipe Sesar Kendeng yaitu sesar naik (*thrust fault*). Validasi dilakukan

menggunakan 16 data deformasi titik GPS menunjukkan bahwa hasil dari metode PS-InSAR sangat baik untuk digunakan dalam melakukan pengamatan deformasi.
Kata Kunci : Deformasi, PS-InSAR, Sesar Kendeng, Validasi Data GPS.

ANALYSING SURFACE DEFORMATION IN SURABAYA (2017-2019) DUE TO KENDENG FAULT ACTIVITY USING PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR (PS-INSAR) METHOD AND GPS DATA VALIDATION

Name	: Toifatul Ulma
NRP	: 03311640000058
Departement	: *Geomatics Engineering*, FTSPK – ITS
Supervisor	: Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T.

ABSTRACT

The city of Surabaya is the capital of East Java Province as well as the second largest populous city in Indonesia. Based on its geological conditions, the city of Surabaya is passed by Kendeng Fault which is an active fault and can cause earthquakes. The activity of the Kendeng Fault caused Surabaya City to be vulnerable to land movement or deformation.

This research was conducted to determine the periodic deformation that occurred in the city of Surabaya using the PS-InSAR method with validation using GPS data. The SAR data used consists of 33 Sentinel 1A images of SLC type with the acquisition year 2017-2019.

The results shown that during the observation period, mean Line of Sight (LOS) velocity in the range of -50 mm / year to +20 mm / year with an average standard deviation of 1,948 mm. Most of the land subsidence occurred in the North and East Surabaya region, while the majority of land subsidence or uplift occurred in the central area of Surabaya City (South and West) which is crossed by the Kendeng Fault. Based on geological analysis, these results are in accordance with the type of Kendeng Fault, which is a thrust fault. Validation using 16 GPS point deformation data shows that the results of the PS-InSAR method are very good for use in observing deformation.

Keywords : Deformation, PS-InSAR, Kendeng Fault, GPS Validation

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DEFORMASI KOTA SURABAYA TAHUN 2017-2019 AKIBAT AKTIVITAS SESAR KENDENG DENGAN METODE *PERMANENT SCATTERERS INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR* (PS-INSAR) DAN VALIDASI DATA GPS

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TOIFATUL ULMA
NRP. 03311640000058

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. (.....)
NIP. 19781231 200212 2 001

Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T. (.....)
NIP. 19910719 201504 2 002

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya sampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul "**Analisis Deformasi Kota Surabaya Tahun 2017-2019 Akibat Aktivitas Sesar Kendeng Dengan Metode *Permanent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar* (Ps-InSAR) Dan Validasi Data GPS**" dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Djaka Siswa Lelana dan Ibu Siti Alfiah beserta kakak dan adik penulis, Sakhaul Azkya dan Salisa Qurrotu yang selalu memberikan doa dan dukungannya untuk kelancaran penelitian ini.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D. selaku pembimbing I atas segala saran dan bimbingannya selama penelitian berlangsung.
4. Ibu Dr. Filsa Bioresita, S.T., M.T. selaku pembimbing II atas segala saran dan bimbingannya selama penelitian berlangsung.
5. Mas Sayidinal Fikri dan Mbak Raudlah Hawin Ayani selaku senior pasca sarjana Geomatika yang telah membantu dalam studi literatur pengolahan SAR.
6. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS Angkatan 2016 atas dukungan dan semangat yang telah diberikan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran sepenuhnya penulis terima sebagai pembelajaran untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk semua

pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 11 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
LEMBAR PENGESAHAN ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Kondisi Topografi Kota Surabaya 5
2.2 Kondisi Geologi Kota Surabaya 5
2.3 Teori Lempeng Tektonik 8
2.4 Zona Subduksi 9
2.5 Sesar 10
2.6 Sesar Kendeng 11
2.7 Deformasi 14

2.8 Radar.....15
2.9 *Synthetic Aperture Radar* (SAR).....17
2.10 *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR) 17
2.11 Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) 19
2.12 *Permanent Scatterers InSAR* 19
2.13 Sentinel-1.....22
2.14 Pemantauan Deformasi Menggunakan GPS.....24
2.15 Komparasi LOS GPS dan InSAR.....26
2.16 Penelitian Terdahulu.....27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....31
3.1 Lokasi Penelitian 31
3.2 Data dan Peralatan.....31
3.2.1 Data 32
3.2.2 Peralatan 33
3.3 Metodologi Penelitian.....35
3.3.1 Tahapan Penelitian 35
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....45
4.1 Hasil Pengolahan Data SAR.....45
4.2 Rata-Rata Kecepatan Deformasi (*Mean LOS Velocity)*..56
4.3 Validasi Hasil PS-InSAR dengan Hasil Pengolahan Data GPS 58
4.4 Analisis Defromasi Hubungannya dengan Kondisi Geologi dan Sesar Kendeng 61

BAB V KESIMPULAN 67
5.1 Kesimpulan.....67
5.2 Saran.....68
DAFTAR PUSTAKA.....69
LAMPIRAN 77

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Geologi Kota Surabaya.....6
Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Batas Lempeng.....9
Gambar 2. 3 Estimasi Posisi Sesar Kendeng di Kota Surabaya ..12
Gambar 2. 4 Peta Zona Sesar Kendeng di Jawa Timur.....13
Gambar 2. 5 Geometri Pencitraan Radar.....16
Gambar 2. 6 LOS Vector Orbit 26
Gambar 2. 7 Hasil Time Series Deformasi Permukaan.....28
Gambar 2. 8 Hasil LOS Kecepatan Rata-Rata Kota Surabaya....29
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian 31
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....35
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR 38
Gambar 3. 4 Dataset Selection 39
Gambar 3. 5 SLC Data Processing.....39
Gambar 3. 6 Multi Image Sparse Processing 43
Gambar 4. 1 Baseline Distribution 46
Gambar 4. 2 Reflectivity Map 49
Gambar 4. 3 Sample Pasangan Citra 2017-2019 (a) Interferogram 26 Juni 2018 – 26 Juni 2018 (b) Interferogram 26 Juni 2018 – 20 Juli 2018 50
Gambar 4. 4 Sampel Interferogram setelah proses unwrapp.....51
Gambar 4. 5 Visualisasi Image Coherence.....52
Gambar 4. 6 Persebaran PSC.....53
Gambar 4. 7 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity 54
Gambar 4. 8 (a) phase sebelum dilakukan APS (b) phase setelah dilakukan APS (c) tampilan plotting displacement sebelum dilakukan APS (d) tampilan plotting displacement sebelum dilakukan APS 55
Gambar 4. 9 Koherensi Temporal PSC (a) sebelum APS removal (b) sesudah APS Removal 55
Gambar 4. 10 Mean LOS Velocity.....57

Gambar 4. 11 Stasiun GPS untuk Pengamatan Deformasi Kota Surabaya 58
Gambar 4. 12 Residual Plot antara hasil LOS GPS dengan LOS PS-INSAR 60
Gambar 4. 13 Peta mean LOS velocity Superimposed dengan Sesar Kendeng..... 62
Gambar 4. 14 Peta LOS Displacement Superimposed dengan Sesar Kendeng dan Cross Section..... 63
Gambar 4. 15 Profil Melintang dari 3 Cross section yang Melewati Sesar Kendeng. Garis merah menunjukkan pola deformasi vertikal, sedangkan garis hitam menunjukkan lintasan garis sesar..... 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Tanah Kota Surabaya (BAPPEKO Surabaya 2009) 7
Tabel 2. 2 Perbedaan InSAR dengan GPS (Kusman 2008).....25
Tabel 3. 1 Daftar Set Data Citra Satelit Sentinel-1A yang Digunakan dalam Penelitian.....32
Tabel 4. 1 Estimasi Besar Perpendicular dan Temporal Baseline mengacu pada Citra Master.....46
Tabel 4. 2 Perbandingan Nilai LOS displacement SAR dengan LOS displacement GPS 59

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kota Surabaya adalah ibu kota Provinsi Jawa Timur sekaligus kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta dengan jumlah penduduk 2.874.699 jiwa (Badan Pusat Statistik 2018). Pertumbuhan penduduk yang pesat juga diimbangi dengan peningkatan jumlah bangunan di Kota Surabaya. Secara topografi, sebagian besar wilayah Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian 3-6 meter di atas permukaan laut pada kemiringan kurang dari 3% (RPJMD 2016). Sebagain besar jenis tanah di Kota Surabaya adalah alluvial yaitu tanah yang berasal dari endapan baru, berlapis-lapis dengan kandungan pasir <60%, sehingga mempunyai sifat cukup peka terhadap deformasi (Terakusuma 2017). Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Vidyan 2013). Deformasi dapat berakibat pada beberapa kerusakan infrastruktur dan fasilitas lainnya. Adanya peristiwa deformasi yang terjadi di Surabaya ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya dipengaruhi oleh adanya aktivitas dari sesar kendeng di Kota Surabaya yang terbagi menjadi dua segmen yaitu segmen Surabaya dan segmen Waru (Tim Pusat Studi Gempa Nasional 2017).

Identifikasi deformasi akibat Sesar Kendeng dapat diamati secara temporal menggunakan citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Pengamatan deformasi perlu dilakukan secara berkala untuk mengamati terjadinya pergerakan tanah terutama yang berdampak dengan perubahan secara vertikal dalam tingkatan yang berbeda-beda. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah citra SAR adalah dengan menggunakan *Permanent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR). Metode PS-InSAR digunakan untuk mengukur pergerakan kecil dari suatu wilayah dengan akurasi mencapai millimeter (Iodice dkk 2009). Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra Sentinel-1. Hasil dari PS-InSAR divalidasi melalui pengamatan

langsung di lapangan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) untuk menguji keakuratan hasil dari PS-InSAR. Dengan menerapkan metode PS-InSAR, penelitian ini diharapkan dapat mengamati rata-rata kecepatan pergerakan tanah di Kota Surabaya yang diamati dari tahun 2017 hingga tahun 2019, serta melakukan analisis titik-titik deformasi yang mempunyai potensi bahaya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. bagaimana penerapan metode PS-InSAR untuk mengetahui deformasi di wilayah Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng?;
b. bagaimana besar nilai dan pola deformasi di wilayah Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng?;
c. bagaimana memvalidasi hasil deformasi yang didapat dengan metode PS-InSAR menggunakan hasil deformasi data GPS?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. lokasi penelitian berada di Kota Surabaya yang terletak pada koordinat 07°11'00" – 07°21'00" Lintang Selatan dan 112°36'00" – 112°54'00" Bujur Timur. Pengamatan dikonsentrasikan pada wilayah sekitar Segmen Surabaya dan Segmen Waru;
b. data yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-1A menggunakan tipe SLC dengan polarisasi VV mode IW akuisisi data pada tahun 2017, 2018 dan 2019, data *precise ephemeris orbit*, DEM SRTM 30 meter.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. mengetahui penerapan metode PS-InSAR untuk mengamati deformasi di wilayah Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng;
b. mengetahui besar nilai dan pola deformasi di wilayah Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng;
c. memvalidasi hasil deformasi yang didapat menggunakan PS-InSAR dengan hasil deformasi data GPS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai besar nilai deformasi di Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng pada tahun 2017 – 2019 berdasarkan pengolahan data SAR dan validasi data GPS. Informasi tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai bahan studi dan pertimbangan dalam tahapan mitigasi bencana khususnya gempa bumi atau penelitian lain yang terkait.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Topografi Kota Surabaya

Luas wilayah Kota Surabaya adalah 33,048 Ha. Wilayah Surabaya secara umum terbagi menjadi 5 wilayah yaitu Surabaya Pusat, Surabaya Timur, Surabaya Barat, Surabaya Utara, dan Surabaya Selatan.

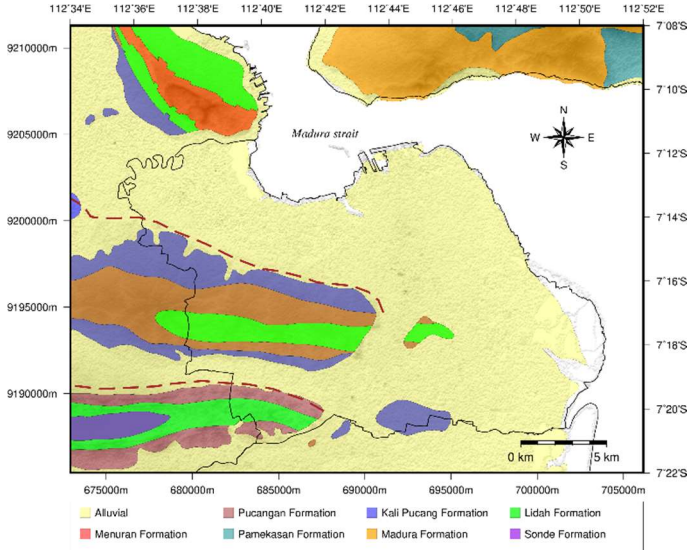
Secara umum keadaan topografi Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah berkisar antara 0-20 meter di atas permukaan laut, sedangkan pada daerah pantai ketinggiannya berkisar antara 1-3 meter di atas permukaan air laut. Sebagian besar Kota Surabaya memiliki ketinggian tanah antara 0-10 meter (80,72%) yang menyebar di bagian timur, utara, selatan, dan pusat kota. Pada wilayah lain memiliki ketinggian 10-20 meter dan 20 meter di atas permukaan air laut yang umumnya terdapat pada bagian barat kota yaitu di Pakal, Lakarsantri, Sambikerep, dan Tandes (Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya 2009).

Kota Surabaya didominasi kelas kemiringan lereng datar (0-8%) sebesar 79% dan 21% dengan kelas kemiringan lereng landai (8-15%) dari total luasan wilayah Surabaya (Dinas Pertanian Kota Surabaya 2010). Dataran rendah meliputi wilayah Surabaya Timur, Utara dan Selatan memiliki kemiringan <3% dan terletak pada ketinggian <10m dari permukaan laut.

2.2 Kondisi Geologi Kota Surabaya

2.2.1 Jenis Batuan

Secara geologi kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur *Miosen* sampai *Plistosen*. Batuan sedimennya adalah bagian dari lajur Kendeng dengan formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan formasi Kabuh. Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan jenis batuan formasi Lidah yang berumur *Pliosen* (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Selain itu daerah Surabaya berupa cekungan endapan alluvial muda hasil endapan laut dan sungai, dan batu pasir (Soekardi 1992).



Gambar 2. 1 Peta Geologi Kota Surabaya
(Anjasmara dkk 2019)

Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung berapi yang berada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir (0,075 mm – 0,2 mm) dan kerikil (2 mm – 75 mm). Bagian timur dan utara sampai sepanjang Selat madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai ± 5 km. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat.

2.2.2 Jenis Tanah

Daerah dataran kota Surabaya secara geologis 70% wilayah kota Surabaya memiliki jenis tanah alluvium pantai dan alluvium sungai. Endapan alluvium tersusun oleh material rombakan berukuran lempung, hingga kerakal dan berwarna kelabu tua.

Tabel 2. 1 Jenis Tanah Kota Surabaya (BAPPEKO Surabaya 2009)

No.	Wilayah Administrasi Kota Surabaya	Jenis Tanah
1.	Pusat	Alluvial, endapan lumpur
2.	Utara	Alluvial dan alluvial bukan abu vulkanik
3.	Timur	Alluvial, endapan lumpur, dan endapan pasir
4.	Barat	Alluvial dan alluvial bukan abu vulkanik
5.	Selatan	Alluvial, bukan abu vulkanik, endapan lumpur, endapan pasir lumpur

Surabaya merupakan daerah yang terletak di dataran rendah. Kondisi geofisik kawasan berdasarkan jenis tanah di Surabaya dikelompokkan atas : tanah bukan abu vulkanik, alluvial, endapan pasir lumpur, endapan lumpur, dan endapan pasir. Jenis tanah yang paling banyak ditemukan adalah alluvial yang berkisar 80% dari total keseluruhan di Surabaya.

Tanah alluvial merupakan tanah yang terbentuk dari lumpur sungai yang mengendap di daratan rendah yang memiliki sifat tanah yang subur dan cocok untuk lahan pertanian. Jenis tanah ini terdapat di 15 Kecamatan yang tersebar di wilayah Surabaya Pusat, Utara, Selatan, Timur, dan Barat. Untuk jenis tanah bukan abu vulkanik ditemukan di lima Kecamatan di wilayah Surabaya Selatan dan Barat. Jenis tanah endapan lumpur, terdapat di empat Kecamatan wilayah Surabaya Pusat, Selatan, dan Timur.

Jenis tanah endapan pasir hanya ditemukan di satu Kecamatan wilayah Surabaya Timur. Jenis tanah endapan pasir lumpur juga hanya terdapat di satu Kecamatan di wilayah Surabaya Selatan. Dan untuk jenis tanah campuran antara alluvial dan bukan

abu vulkanik, terdapat di tiga Kecamatan di wilayah Surabaya Utara dan Barat (Dinas Pertanian Kota Surabaya 2010).

2.3 Teori Lempeng Tektonik

Teori lempeng tektonik muncul setelah Alfred Wegener dalam bukunya *The Origin of Continents and Oceans* (1925) mengemukakan bahwa benua yang padat sebenarnya terapung dan bergerak di atas massa yang relative lembek (*continental drift*). Gravitasi dianggap sebagai penyebab utama dari semua pergerakan lempeng. Gaya gravitasi menarik lempeng yang tersubduksi karena bagian itu memang lebih tua dan lebih berat bobotnya. Kemudian dikarenakan tertarik, terdapat celah di tengah punggung samudera yang kemudian terisi material dari dalam mantel (Waugh 2014).

Berkaitan dengan lempeng tektonik tersebut maka tidak lepas dari aktivitas lempeng yang bergerak ada yang saling bertumbukan, menjauh, dan bergeser dimana efek tersebut yang menjadikan Indonesia hingga menjadi saat ini.

2.1.1 Jenis-Jenis Batas Lempeng

Ada tiga jenis batas lempeng yang berbeda dari cara lempengan tersebut bergerak relatif terhadap satu sama lain. Tiga jenis ini masing-masing berhubungan dengan fenomena yang berbeda di permukaan. Tiga jenis batas lempeng tersebut adalah:

1. Batas Transform (*Transform Boundaries*)

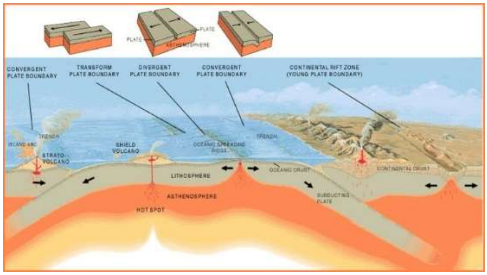
Batas transform terjadi jika lempeng bergerak dan mengalami gesekan satu sama lain secara menyamping di sepanjang sesar transform (*transform fault*). Gerakan relatif kedua lempeng bisa sinistral (ke kiri di sisi yang berlawanan dengan pengamat) ataupun dekstral (ke kanan di sisi yang berlawanan dengan pengamat).

2. Batas Divergen/Konstruktif (*Divergent/Constructive Boundaries*)

Batas divergen terjadi ketika dua lempeng bergerak menjauh satu sama lain. *Mid-oceanic ridge* dan zona retakan (*rifting*) yang aktif adalah contoh batas divergen.

3. Batas Konvergen/Destruktif (*Convergent/Destructive Boundaries*)

Batas konvergen terjadi jika dua lempeng bergesekan mendekati satu sama lain sehingga membentuk zona subduksi jika salah satu lempeng bergerak di bawah yang lain, atau tabrakan benua (*Continental Collision*) jika kedua lempeng mengandung kerak benua. Palung laut yang dalam biasanya berada di zona subduksi, di mana potongan lempeng yang terhunjam mengandung banyak bersifat hidrat (mengandung air), sehingga kandungan air ini dilepaskan saat pemanasan terjadi bercampur dengan mantel dan menyebabkan pencairan sehingga menyebabkan aktivitas vulkanik.



Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Batas Lempeng (USGS 1999)

2.4 Zona Subduksi

Zona subduksi atau zona penunjaman merupakan zona yang memiliki perbedaan massa jenis antara kedua jenis lempeng, akibatnya lempeng yang lebih besar massa jenisnya menunjam ke bawah lempeng lainnya. Penunjuman ini terjadi di batas antar lempeng samudera dan benua atau di antara sesama lempeng samudera. Zona penunjuman adalah salah satu tempat bagi terbentuknya deretan gunung berapi dan gempa bumi. Pergerakan lempeng tektonik sendiri disebabkan oleh arus konveksi panas. Sedangkan perbedaan massa jenis ini terjadi akibat dari jenis batuan yang ada pada kedua lempeng ini berbeda. Keberadaan subduksi tersebut juga memicu aktivitas tektonik yang berada di

daerah Jawa Timur. Salah satu aktivitas tektonik yang sering terjadi adalah gempa tektonik. Kegempaan pada zona subduksi terjadi akibat gesekan antar lempeng yang memicu pelepasan energi (Setiawan 2015).

2.5 Sesar

Patahan atau sesar (*fault*) adalah satu bentuk rekahan pada lapisan batuan bumi yang menyebabkan satu blok batuan bergerak relatif terhadap blok yang lain. Pergerakan bisa relatif turun, relatif naik, ataupun bergerak relatif mendatar terhadap blok yang lain. Pergerakan yang tiba-tiba dari suatu patahan atau sesar bisa mengakibatkan gempa bumi. Sesar (*fault*) merupakan bidang rekahan atau zona rekahan pada batuan yang sudah mengalami pergeseran. Sesar terjadi sepanjang retakan pada kerak bumi yang terdapat slip diantara dua sisi yang terdapat sesar tersebut (Endarto 2005). Terdapat berbagai jenis sesar, berdasarkan tingkat keaktifan dari sesar itu sendiri (Tjia 1976), yaitu sebagai berikut:

a. Sesar Aktif
   merupakan sesar yang terjadi pada masa holosen atau saat sejarah geologi sudah ditemukan
b. Sesar Aktif Potensial
   merupakan sesar yang memiliki usia pada kwarter dan ini biasanya terjadi pada daerah yang memiliki gunung api di dalamnya.
c. Sesar Aktif Tidak Pasti
   Sesar ini merupakan sesar yang terjadi lebih lama dari kwarter sehingga usianya pun sudah sangat tua dan hal ini membuat apakah sesar tersebut masih aktif atau tidak menjadi tidak pasti. Sesar jenis ini biasanya terjadi pada daerah yang memiliki lereng curam dan terdapat batu gamping.

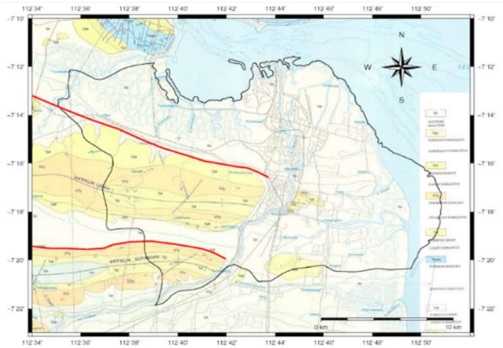
Berdasarkan pergerakannya, terdapat jenis *creeping fault* yaitu sesar-sesar yang berada di permukaan dan mempunyai pergerakan

relative, dengan laju kecepatan kontinyu yang relative lambat dan penurunan tegangan geser kecil, namun tidak cukup menimbulkan gempa (ESDM 2019). Selanjutnya terdapat jenis *locked fault*, yaitu sesar yang tidak mangalami pergerakan karena gesekan yang besar. Pergerakan ini semacam akumulasi dari regangan yang akhirnya dikeluarkan berupa gempa bumi.

2.6 Sesar Kendeng

Sesar Kendeng merupakan sesar aktif yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur. Sesar ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (*blind faults*) yang dapat diamati dari adanya anomali *Bouguer* di daerah ini (Buku Pusat Gempa Nasional 2017). Di bagian barat Sesar Kendang ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (Mw 4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Bukti pergeseran sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini. Sesar Kendeng merupakan sesar dengan mekanisme sesar naik (Marliyani 2016).

Penelitian terbaru yang dipublikasikan oleh *Geophysical Research Letter* mengungkapkan bahwa sesar Kendeng bergerak aktif dengan pergerakan 5 milimeter per tahun dan menjadi sumber gempa di wilayah Jawa Timur. Sesar Kendeng melintang sejauh kurang lebih 300km dari selatan Semarang, Jawa Tengah, hingga Jawa Timur. Sesar Kendeng di Surabaya terbagi menjadi dua segmen, yaitu Segmen Surabaya dan Segmen Waru. Segmen Surabaya merupakan zona sesar yang memanjang dari Semarang, Jawa Tengah hingga 300km ke Jawa Timur. Sedangkan Sesar Kendeng Segmen Waru membentang mulai dari bukit di kawasan Karang Pilang sampai ke Sidoarjo, Jombang, dan Nganjuk. Implikasi sesar Kendeng terhadap bahaya gempa di Kota Surabaya dapat dilakukan dengan analisis bahaya gempa (*seismic hazard*).



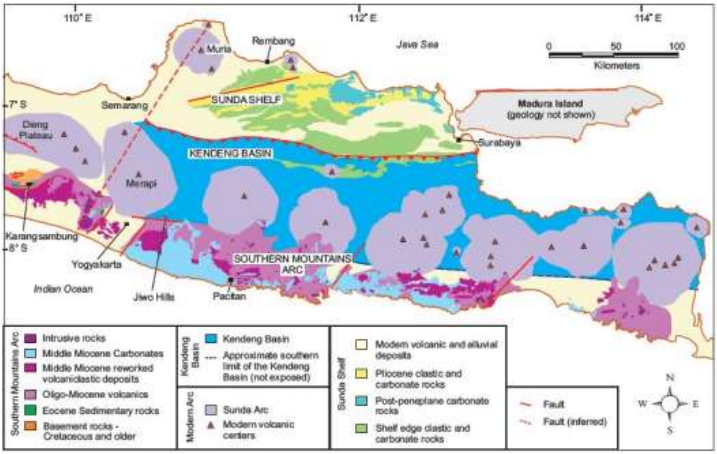
Gambar 2. 3 Estimasi Posisi Sesar Kendeng di Kota Surabaya (Anjasmara dkk 2018)

2.6.1 Aktivitas Tektonik di Jawa Timur Terkait Hubungannya dengan Sesar Kendeng

Wilayah Jawa Timur merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki banyak gunung api aktif sampai saat ini. Zona subduksi di selatan Jawa Timur merupakan bagian dari subduksi panjang yang terbentuk akibat tumbukan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Keberadaan subduksi tersebut menjadi menarik untuk dikaji karena turut mempengaruhi aktivitas gunungapi dan potensi bencana alam di daerah tersebut. Deretan gunungapi aktif membentang dari barat ke timur yang merupakan bagian dari cincin api dunia (Keberadaan busur gunungapi aktif tersebut tidak terlepas dari keberadaan sistem subduksi yang terbentuk dari tumbukan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Keberadaan subduksi tersebut selain menyebabkan munculnya busur gunung api juga memicu aktivitas tektonik yang berada di daerah Jawa Timur. Aktivitas tektonik yang sering terjadi adalah gempa tektonik. Kegempaan (seismisitas) pada zona subduksi terjadi akibat gesekan antar lempeng yang memicu pelepasan energi (ESDM, 2015). Menurut data yang terdapat di USGS, terdapat sedikitnya 194 kali gempa bumi skala kecil hingga besar

yang terjadi di area sekitar zona subduksi Java Trench dalam kurun waktu 2015 – 2018 (USGS, 2019).

Sebagaimana telah dijelaskan di atas bahwa terdapat sesar yang memanjang dari pertengahan Jawa Timur menuju bagian timur Jawa Tengah, yakni Sesar Kendeng.



Gambar 2. 4 Peta Zona Sesar Kendeng di Jawa Timur (Smyth dkk 2008)

Beberapa rangakaian aktivitas tektonik yang diidentifikasi terjadi di wilayah zona Sesar Kendeng dan sesar-sesar lain sebagai pemicunya adalah gempa bumi di Kabupaten Madiun pada tanggal 25 Juni 2015 pukul 10.35 WIB. Pusatnya berada di 21 km timur laut Kota Madiun (7,64°LS dan 111,67°BT) dengan magnitudo 4,2 SR pada kedalaman 1 km. Gempa tersebut mempunyai mekanisme dominan sesar geser dan sedikit komponen sesar turun (PVMBG 2015). Gempabumi ini dirasakan dengan intensitas maksimum di lereng barat daya dan selatan Gunung Pandang yang dicirikan dengan terjadinya retakan tanah. Goncangan gempabumi ini juga dirasakan di Caruban dan Nganjuk. Kejadian ini tidak menimbulkan korban jiwa namun menyebabkan beberapa kerusakan pada beberapa rumah dan retakan-retakan tanah.

Aktivitas tektonik selanjutnya terjadi pada tanggal 4 November 2016 pukul 12.08 WIB, yang juga berpusat di Kabupaten Madiun (7,55˚LS dan 111,3˚BT). Gempa bumi ini berkekuatan 4,9 SR pada kedalaman 19 km dan berjarak 45 km barat laut Madiun. Goncangan ini dirasakan dibeberapa daerah yaitu Madiun, Trenggalek, Yogyakarta, Magetan dan Ngawi. Kejadian ini berpusat di wilayah Pegunungan Kendeng, diperkirakan disebabkan oleh interaksi kompleks sesar Kendeng, struktur geologi yang mewakili Jawa Timur (PVMBG 2016). Selain itu, masih banyak pula aktivitas tektonik lain yang dinyatakan sebagai gempabumi dan juga tercatat oleh BMKG di tahun 2016. Kejadian ini berlokasi di wilayah Jawa Timur yang berpusat di koordinat 7,40˚LS dan 111,71˚BT dengan magnitudo 2,6 SR di kedalaman 18 km. Terdapat juga gempabumi yang terjadi pada 25 Maret 2016 yng berpusat di 7,38˚LS dan 111,83˚BT dengan magnitudo 2,8 SR di kedalaman 10 km serta kejadian pada 11 Agustus 2016 yang berpusat di koordinat 7,37˚LS dan 111,53˚BT dengan magnitudo 2,5 SR di kedalaman 26 km. Adanya gempabumi yang terjadi ini menjadi dampak dari aktivitas tektonik yang terjadi akibat tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia ataupun aktivitas tektonik dari patahan yang melintas di sekitar lokasi kejadian.

2.7 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, dan atau ukuran suatu tubuh sebagai respon terhadap gaya yang diterapkan. Selain itu deformasi juga berarti perubahan posisi translasi dan orientasi. Gaya yang dimaksud, di dalamnya termasuk *body forces*, misalkan gravitasi, dan *surface forces*, misal *hydrostatic* (Anjasmara 2013). Deformasi disebabkan oleh dua hal, yaitu tegangan atau regangan. Tegangan adalah gaya yang bekerja pada satuan luas. Tegangan ada dua macam yaitu *uniform stress* yaitu tekanan yang besarnya sama dari segala arah dan *differential stress* yaitu tekanan yang besarnya berbeda dari segala arah. Regangan adalah perubahan

ukuran, bentuk atau volume dari material, terjadi akibat batuan mengalami deformasi. Pengontrol deformasi ada tiga, yaitu suhu, waktu, *strain rate* (kecepatan batuan untuk berubah bentuk dan volume) dan komposisi. Deformasi akan melalui tiga tahapan, yaitu *Elastic deformation, Ductile deformation* dan *Fracture*. *Elastic deformation* adalah deformasi sementara, tidak permanen atau dapat kembali ke bentuk awal. Begitu *stress* hilang, batuan kembali kebentuk dan volume semula. Seperti karet yang ditarik akan melar tetapi jika dilepas akan kembali ke panjang semula. *Ductile deformation* merupakan deformasi dimana elastic limit dilampaui dan perubahan bentuk dan volume batuan tidak kembali. *Fracture* tejadi apabila batas atau limit elastik dan *ducktile* deformasi dilampaui. Deformasi rekah dan lentur adalah sama, menghasilkan regangan yang tidak kembali ke kondisi semula. Pemantauan deformasi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam sensor atau sistem dan berdasarkan metode implementasinya dapat diklasifikasikan atas dua tipe, yaitu metode episodik dan metode kontinyu (Abidin 2008). Metode episodik dilakukan dalam selang waktu tertentu, umumnya menggunakan data-data pengamatan terestris, seperti jarak (dari *Electronic Distance Meter* (EDM)), arah (dari theodolit), beda tinggi (dari sipat datar), dan perubahan gaya berat (dari pengukuran mikrogravitas), data GPS dan menggunakan pengolahan *Interferometric SAR* (InSAR). Sedangkan metode kontinyu dilakukan secara terus menerus menggunakan bantuan sistem telemetri/komunikasi *online*.

Deformasi dapat berupa kenaikan muka tanah (*uplift*) dan penurunan tanah (*subsidence*). Dalam penelitian ini terkait dengan pengamatan deformasi menggunakan citra, deformasi dapat dikatakan *uplift* jika mendekati satelit dan *subsidence* bila menjauhi satelit.

2.8 Radar

Radar adalah salah satu sistem penginderaan jauh yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pengerjaannya

karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung ada radiasi matahari

Prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan merekam pantulan obyek di permukaan bumi. Gelombang pantulan yang direkam oleh sensor inilah yang kemudian diolah menjadi citra. Citra dapat terbentuk karena gelombang yang dipantulkan mempunyai intensitas yang berbeda, tergantung dari sudut pantul obyek (Sari 2014).

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

a. *Incidence Angle*

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

b. *Depression Angle*

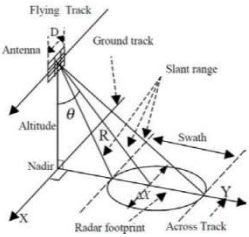
Adalah sudut yang dibentuk dari arah horizontal kearah garis pancaran gelombang radar.

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 antena pada saat melakukan pencitraan.



Gambar 2. 5 Geometri Pencitraan Radar (Chen 2008)

2.9 *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. SAR mengambil keuntungan dari sistem Doppler terutama dari gema RADAR yang dihasilkan dari perputaran suatu benda di depan satelit untuk mensintesis sebuah antena besar. Ini memberikan hasil ketelitian tinggi dari resolusi azimuth pada citranya, dengan ukuran antenna secara fisik adalah kecil. Ketika satelit RADAR ini bergerak pada posisinya dan memancarkan setiap pulsanya, pengambilan terobosan gema ke receiver dan direkam dalam tempat penyimpanan gema (*signal storage*) (ESA 2013).

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 *amplitude* dan *phase* 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* (Ferreti dkk 2007).

2.10 *Interferometry Aperture Radar* (InSAR)

Synthetic Apterture Radar (SAR) merupakan sebuah sistem penginderaan jauh aktif yang koheren dimana untuk merekonstruksi citra *illuminated scene* resolusi tinggi yang kompleks (Casu 2009). Sistem ini menyinari bumi dengan sinar dari radiasi koherens gelombang radar, dengan mempertahankan informasi *phase* dan *amplitude* dalam gema radar selama akuisisi data dan pengolahan data. Teknik *InSAR* memanfaatkan beda fase (*interferogram*) antara dua data citra SAR bernilai kompleks yang relevan terhadap area penelitian yang didapat dari posisi orbit yang sedikit berbeda dan pada waktu yang berbeda. Perbedaan fase yang

terkait dengan deformasi tanah terdiri dari konstituen dan perpindahan topografi (komponen yang perlu diekstraksi); selain itu *signal to noise ratio* mengandung *atmospheric component delay*, *orbital artifact* (atau memungkinkan dikenal sebagai perbedaan dalam *baseline* antara dua data akuisisi SAR), dan *noise* akibat karakteristik material (Bouraoui 2013):

$$\phi_{int\Delta t_i} = \phi_{topo,\Delta t_i} + \phi_{def,\Delta t_i} + \phi_{atm,\Delta t_i} + \phi_{orb(base),\Delta t_i} + \phi_{noise,\Delta t_i} + \phi_{scat,\Delta t_i} \quad (2.1)$$

Dimana Δt_i adalah interval waktu antara dua citra SAR untuk *interferogram*, $\phi_{topo,\Delta t_i}$ merupakan beda fase terkait perubahan pada topografi, $\phi_{atm,\Delta t_i}$ merupakan beda fase terkait *atmospheric delay*, $\phi_{def,\Delta t_i}$ adalah fase akibat deformasi pada *Line of* Sight, $\phi_{orb(base),\Delta t_i}$ adalah residual fase dalam penentuan orbit, $\phi_{noise,\Delta t_i}$ adalah fase akibat dari *thermal noise, corregistration noise,* dan *interpolation* noise serta $\phi_{scat,\Delta t_i}$ adalah fase akibat adanya variasi temporal dan spasial dari dua pengamatan. Untuk keperluan penentuan deformasi, maka sinyal fase selain deformasi pada persamaan di atas harus dihilangkan dari interferogram sehingga informasi yang diperoleh betul merupakan akibat perubahan permukaan (Agustan 2016).

Perkalian dua data SAR yang terdiri dari *master* (biasanya data yang diamati lebih dulu atau waktu pengamatan pertama) dan *slave* (data pengamatan kedua) menghasilkan interferogram (Agustan 2016).

Relasi antara fase interferomerik $\phi = \phi_1 - \phi_2$ dan beda jarak antar satelit adalah

$$\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(R_2 - R_1) \quad (2.2)$$

dimana: ϕ adalah fase interferogram, R_1 merupakan jarak antara SAR dengan *scatterer* pada akuisisi pertama, R_2 adalah jarak dari

akuisisi kedua dan λ adalah panjang gelombang citra yang digunakan.

2.11 ***Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* (DInSAR)**

Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan teknik berbasis radar yang mengeksploitasi informasi yang ada pada fase, setidaknya dua gambar SAR yang diperoleh pada daerah yang sama, pada waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran deformasi pada suatu daerah.

Konsep dasar dari metode DInSAR adalah untuk memanfaatkan koherensi (ukuran korelasi atau kecocokan untuk informasi fase sinyal yang sesuai) dalam pengukuran fase untuk mendapatkan perbedaan jarak dan perubahan jarak dari dua atau lebih citra SAR yang memiliki nilai kompleks dari daerah yang sama. Jika terdapat dua citra dalam satu format pengamatan kompleks tunggal dari daerah yang sama, maka informasi fase dari dua citra dalam bilangan kompleks tersebut dapat digabungkan (Casu 2009).

Teknik ini menghasilkan sebuah citra, yang disebut *differential interferogram*, menggambarkan pergerakan tanah yang terjadi antara akuisisi dengan akurasi sentimeter (cm) hingga milimeter (mm) dan dengan kemampuan cakupan spasial yang luas.

2.12 ***Permanent Scatterer* InSAR**

Persistent/permanenet Scatter Interferometry Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) merupakan pengembangan dari teknik InSAR dan DInSAR dengan menekankan pada eliminasi kesalahan akibat adanya dekorelasi temporal dan dishomogenitas atmosferik yang sering ditemui pada metode sebelumnya. Dari penjelasan sebelumnya, sebagai perbandingan penerapan metode InSAR, DInSAR dan PS-InSAR (Ferreti dkk 2001) adalah sebagai berikut:

a. Metode InSAR
   1. Menggunakan kombinasi nilai tiap piksel dari dua data citra radar (Agustan 2010).
   2. Hasilnya berupa citra interferogram untuk melihat bentuk permukaan topografi.
b. Metode DInSAR
   1. Menghasilkan tingkat akurasi sub meter namun akan meningkat hingga fraksi milimeter per tahun apabila digunakan kombinasi teknik pengukuran geodesi lainnya (GPS dan Sipat Datar).
   2. Menggunakan pasangan data yang lebih sedikit dibandingkan teknik PS-InSAR. Penggunaan pasangan citra radar pada teknik ini berjumlah tiga atau lebih.
   3. Lebih mudah dalam melakukan *co-registration* karena hanya proses penyatuan sistem koordinat antar citra dalam satu pasangan.
   4. Inteferogram yang dihasilkan dalam bentuk *fringe* dilihat secara spasial (konsep raster) dimana dilakukan penskalaan untuk mengetahui laju deformasinya berdasarkan skala ketelitiannya.
c. Metode PS-InSAR
   1. Menghasilkan tingkat akurasi hingga milimeter per tahun dari pengolahan citra radar dengan metode PS-InSAR dan biasanya teknik pengukuran geodesi lainnya digunakan sebagai validasi akhir saja.
   2. Menggunakan pasangan data SAR yang lebih banyak dalam rentang waktu maksimal 7 tahun sejak dilakukannya akuisisi data pada daerah penelitian. Penggunaan pasangan citra radar pada teknik ini antara lain: 33 pasangan citra SAR (Ferreti dkk 1999), 20 pasangan citra SAR (Elias dkk 2009).

3. Lebih sulit melakukan co-registration karena selain proses *co-registrasi* umumnya juga harus dilakukan tes homogenitas dalam rangka memisahkan dan menemukan pantulan yang diakibatkan deformasi dan aktifitas atmosfer.
4. Inteferogram yang dihasilkan dalam bentuk *fringe* kemudian ditransformasikan dalam konsep vektor untuk kemudian dilakukan analisis numerik menggunakan metode hitung perataan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dan memberikan bobot terhadap piksel yang berkualitas dalam konsep *irregular grid.*

Tujuan dari penerapan metode PS-InSAR pada awal penelitian adalah melakukan identifikasi pada *single coherent pixel* yang dimulai dari beberapa citra SAR yang terpisah oleh *baseline* yang besar dalam rangka mendapatkan akurasi DEM hingga sub-meter dan pergerakan permukaan bumi pada area koheren rendah berdasarkan basis piksel. Teknik PSInSAR menggunakan beberapa citra SAR untuk meningkatkan kemampuan deteksi untuk deformasi tanah untuk periode yang panjang (Ferretti dkk 2001). PS-InSAR menganalisis hamburan balik (*backscatter*) dari objek di permukaan tanah. *Backscatter* objek ini dapat dengan mudah dideteksi di daerah permukiman, dan minim untuk daerah vegetasi. Teknik PS-InSAR untuk pemantauan deformasi permukaan tanah telah banyak dilakukan untuk berbagai aplikasi, diantaranya yaitu deformasi *subsidence* yang terjadi di daerah permukiman (Chen dkk 2010; Osmanoglu dkk 2011), stabilitas infrastruktur (Jiang & Lin 2010), seismik patahan, aktivitas gunung api (Hooper 2006), dan tanah longsor (Farina dkk 2006). Fenomena *land subsidence* di kota Jakarta telah dikenal selama bertahun-tahun dan telah dilakukan berbagai penelitian untuk memantau fenomena tersebut (Abidin dkk 2008).

Pemilihan titik-titik PS dilakukan berdasarkan metode *threshold* koherensi yang dipilih. Namun tidak hanya berdasarkan nilai *threshold*, pemilihan titik PS juga dilakukan berdasarkan nilai *Amplitude Dispersion Index* dan nilai *Amplitude Stability Index*. Titik dengan nilai *Amplitude Dispersion Index* kurang dari 0,25 akan memberikan peluang titik terpilih memiliki nilai *Amplitude Stability Index* yang tinggi. Ini juga memastikan bahwa hanya titik PS yang memiliki *deccorelation noise* rendah yang terpilih.

$$D_{\mathrm{A}} = \frac{\sigma \mathrm{A}}{\mu \mathrm{A}} \tag{2.3}$$

Keterangan:

σA : standar deviasi

μA : nilai rata-rata

D_A : *dispersion index*

Untuk memilih titik PS digunakan nilai *Amplitude Stability Index* (ASI) dimana sebagai ambang batasnya digunakan nilai 0,75 (Gonmuru & Kumar 2018). Formula ASI adalah sebagai berikut:

$$ASI = 1 - \frac{\sigma \mathrm{A}}{\mu \mathrm{A}} \tag{2.4}$$

Untuk melakukan pemrosesan PS-InSAR terdapat berbagai *software* yang dapat digunakan seperti: *The Stanford Method for PS* (StaMPS) *package* (Hooper 2006), *the DePSI system from the Deflt Univeristy*, *Permanent ScatterersTM of the TeleRilevamento Europe (*TRE*)*, *the Interferometric Point Target Analysis of GAMMA* dan SARPROZ.

2.13 Sentinel-1

Sentinel-1A merupakan satelit SAR pertama dari program *Copernicus* yang diluncurkan pada 3 April 2014 di Kourou, French Guiana. Sentinel-1A merupakan satelit berorbit polar yang beroperasi siang dan malam menjalankan penginderaan menggunakan *C-band synthetic aperture radar* dengan frekuensi 5,405 GHz, memungkinkan untuk menangkap citra dalam kondisi cuaca apapun.

Sentinel-1A dapat menghasilkan produk berupa citra SAR *level-0*, *level-1* dan *level-2* (ESA Sentinel 2012). Produk data tersedia dalam tipe *single polarization* (VV atau HH) untuk *wave mode* dan *dual polarization* (VV+VH atau HH+HV) atau *single polarization* (VV atau HH) untuk mode *Strip Map* (SM) dengan lebar *swath* 80 km dan resolusi spasial 5x5 km , *Interferometric Wide* (IW) dengan lebar *swath* 20 km dan resolusi 5x20 m, *Extra Wide* (EW) dengan resolusi 20x40 m dan mode *Wave Mode* (WV) yang memiliki resolusi 5x5 m (ESA Sentinel 2015). Pada penelitian ini digunakan polarisasi VV yang memiliki resolusi vertikal sebesar 10 m (Gao dkk 2017), fitur *surface* akan memiliki *backscatter* tertinggi pada VV. Fitur *surface* adalah objek permukaan bumi yang bentuknya permukaan, seperti air, lapangan beton, jalan aspal, dan sebagainya (PPIDS 2019).

a. Level-0

Produk SAR *level*-0 berisi paket sumber instrumen yang dikompresi dan tidak diproses, dengan anotasi tambahan dan informasi pendukung pengolahan. Produk-produk SAR *level*-0 mengandung urutan paket sumber instrumen SAR yang di-*downlink* untuk pengambilan data, termasuk *noise,* kalibrasi internal dan paket sumber gema.

b. Level-1

Data *level*-1 merupakan data yang pada umumnya diperlukan oleh pengguna data. Produk *level*-1 dihasilkan berupa *Single Look Complex* (SLC) dan *Ground Range Deteted* (GRD). Produk *Single Look Complex* (SLC) *level*-menyediakan data terfokus dalam geometri *slant range*, *single look*, mengandung informasi fasa dan amplitude.

Sedangkan produk *Ground Range Deteted* (GRD) *level*-1 mengandung data SAR terfokus dan diproyeksikan pada *ground range*, terdeteksi (informasi fase dihilangkan) dan *multiloked* dengan tampilan dan resolusi yang berbeda. Terdapat 3 level resolusi untuk produk Sentinel-1 GRD : *full resolution* (FR), *high resolution* (HR) dan *medium resolution* (MR).

c. Level-2

Produk *level*-2 didefinisikan untuk aplikasi kelautan sebagai kelanjutan dari produk operasional Envisat ASAR yang sudah ada, mengingat evolusi yang diharapkan dari produk demonstrasi yang sudah ada.

2.14 Pemantauan Deformasi Menggunakan *GPS*

Selain menggunakan teknologi PS-InSAR untuk memantau fenomena deformasi, dapat juga memanfaatkan teknologi GPS melalui pengamatan titik – titik di area kajian deformasi. Prinsip dari teknologi GPS ini untuk pemantauan deformasi adalah dengan menentukan nilai pergeseran dengan menghitung selisih hari ke-(n+1) dengan hari sebelumnya (n), secara matematis ditulis sebagai berikut (Abidin 2001):

$$d_{n,e,H} = P_{n,e,H}(n+1) - P_{n,e,H}(n) \qquad (2.5)$$

Keterangan:

$d_{n,e,H}$ = perubahan posisi *northing* (N), *easting* (E) dan *elevation* (H) dari pengamatan hari ke – (n+1) dengan hari sebelumnya n.

$P_{n,e,H}$ (n+1), $P_{n,e,H}$ (n) = Posisi kala pengamatan saat n dan n+1

Vektor pergeseran merupakan salah satu indikasi terjadinya deformasi pada gempa bumi. Vektor pergeseran dapat dibagi dua komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal.

Komponen horizontal adalah besar dan pola vektor pergeseran secara bidang horizontal. Arah pergeseran ditunjukkan oleh besarnya azimuth dari pergeseran titik-titik kerangka dasar deformasi tersebut.

Komponen vertikal menjelaskan mengenai besar dan pola vektor pergeseran secara vertikal. Besarannya didapat dari perbedaan komponen tinggi (H) antar kala pengamatan yang berbeda. Tanda positif pada nilai pergeseran tinggi menandakan

titik bergeser ke atas, sedangkan tanda negatif menandakan bergeser ke bawah. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$dH = H(n+1) - H(n) \quad (2.6)$$

Keterangan:

dH	=	Pergeseran tinggi dari pengamatan kala n sampai n+1
H(n), H(n+1)	=	Tinggi pada pengamatan saat hari ke-(n) dan ke-(n+1)

Menurut Abidin (2007) untuk mengecek signifikansi secara statistik dari vektor pergeseran hasil estimasi GPS, *congruency test* diterapkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Caspary 1987):

$$\delta d = \sqrt{dn^2 + de^2 + dH^2} \quad (2.7)$$

Dimana δd adalah pergeseran titik dalam periode n sampai n+1.

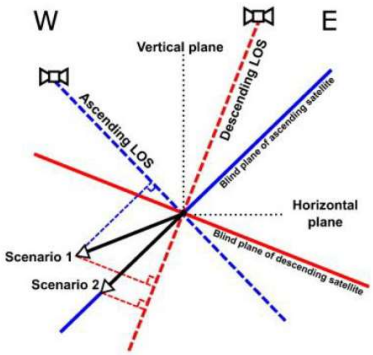
Tabel 2. 2 Perbedaan InSAR dengan GPS (Kusman 2008)

No.	Perbedaan	InSAR	GPS
1.	Pengambilan data	Tidak langsung	Langsung
2.	Data	Area (piksel)	Titik
3.	Ketelitian vertikal	Level milimeter	Level sentimeter
4.	Ketelitian horizontal	Level meter	Level milimeter
5.	Hasil	Model 3D	Vektor 3D
6.	Keterlibatan SDM	Sedikit	Cukup banyak
7.	Biaya (Minimal data)	*Free*, 5 – 10 juta rupiah per *scene*	1 juta rupiah per titik

Untuk memilih teknologi mana yang murah dengan menggunakan InSAR atau GPS itu adalah relative tergantung dari area pengamatannya atau jumalh tiitk pengamatan dan keperluan pemantauan fenomena deformasinya.

2.15 Komparasi LOS GPS dan InSAR

Pola deformasi pada citra *InSAR* merupakan deformasi relative terhadap LOS. Pola deformasi yang terlihat masih belum terlalu jelas karena beberapa distorsi baik berupa dekorelasi temporal maupun dekorelasi geometri. Pengaruh atmosfer terhadap hasil pengolahan juga belum dapat dihilangkan sepenuhnya. Pengaruh atmosfer yang paling berpengaruh pada hasil pengolahan adalah pengaruh akibat efek troposfer. Efek troposfer pada perambatan gelombang elektromagnetik akan menyebabkan keterlambatan phase yang akan berpengaruh terhadap penentuan jarak (Hanssen 2001). Untuk itu diperlukan validasi hasil PS-InSAR dengan penelitian menggunakan metoda lainnya yang lebih teliti, seperti GPS.



Gambar 2. 6 *LOS Vector Orbit* (Eriksen dkk 2016)

Untuk mengkomparasi LOS GPS *velocity* dengan InSAR LOS *velocity*, dibutuhkan untuk mengkonversi GPS *velocity* menjadi arah LOS. Persamaan untuk konversi menurut Millen (2015) adalah sebagai berikut:

$$[LOS] = [-\sin(\theta) sin\,(\alpha) \;\; -\sin(\theta)\cos(\alpha) \;\; \cos(\alpha)] \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Keterangan :
θ = *incident angle*
α = *heading angle*

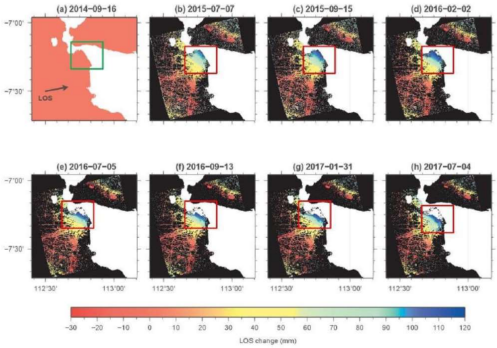
2.16 Penelitian Terdahulu

Sebelumnya telah dilakukan penelitian terkait penggunaan metode PS-InSAR untuk pengukuran deformasi Kota Surabaya oleh Aditiya dkk (2017) dalam judul *Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City*, Indonesia (2017). Data yang digunakan adalah periode September 2014 – Juli 2017. Penelitian ini menggunakan 8 *scene* ALOS-2 PALSAR-2. Parameter pengamatan untuk semua citra adalah mode pengamatan *Strip Map; track 131* dan *right looking direction*, resolusi citra 10m. Data-data ini digunakan untuk menghasilkan interferogram dan untuk mendapatkan nilai LOS. Dalam pemrosesan interferogram tidak semua menghasilkan hasil yang baik, hal ini disebabkan oleh *error* pada *unwrapping* dan efek atmosfir pada citra itu sendiri. Selanjutnya dilakukan pemrosesan *time series* untuk wilayah Surabaya dengan menggunakan program GIAnT. Setelah proses *unwrapping* dan *filtering* secara spasial *noise* berkorelasi dan dapat dihitung *mean of velocity* LOS.

Dari pemrosesan yang telah dilakukan, diidentifikasi beberapa lokasi yang mengalami *subsidence* dengan estimasi rata-rata kecepatan penurunan tanah yaitu ~1,7 cm/tahun dengan nilai maksimum hingga ~2,2 cm/tahun. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, peneliti memperkirakan setelah 3 tahun tanah di daerah sepanjang Kenjeran, Semampir, dan kecamatan Pabean akan mengalami penurunan sebesar ~6 cm.

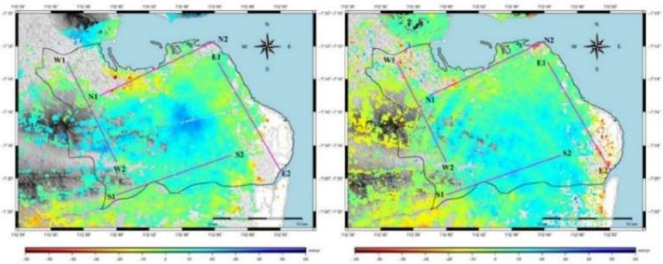
Faktor lain yang menjadi penyebab penurunan tanah di Kota Surabaya disebabkan oleh faktor antropogenik di hampir semua amblesan dan faktor alam seperti proses tektonik di Surabaya selatan. Kekurangan dari penelitian ini adalah belum melakukan validasi hasil pengolahan *time series* InSAR dengan pengukuran

langsung seperti data GPS, sehingga belum diketahui seberapa akurat hasil pemrosesan tersebut.



Gambar 2. 7 Hasil Time Series Deformasi Permukaan (Aditiya dkk 2017)

Penelitian mengenai *land subsidence* di Kota Surabaya juga telah dilakukan oleh (Sendy dkk 2018). Data yang digunakan adalah citra Sentinel-1A sebanyak 24 *scene* dengan akuisisi data dari Mei 2015 – September 2017. Pengolahan dilakukan sebanyak dua kali yaitu untuk periode Mei 2015 – Mei 2017 dan periode Mei 2015 – September 2017. Dengan menggunakan metode SBAS sebagai pemrosesan citra didapatkan kecepatan penurunan tanah rata-rata yang sama dari kedua pengolahan yaitu sebesar -6 cm/tahun hingga +2,5 cm/tahun. Penurunan tanah terbesar terjadi di Surabaya bagian utara dimana lokasi tersebut dekat dengan daerah *coastal*. Analisa pada penelitian ini juga menyebutkan bahwa Surabaya memiliki potensial gempa.



Gambar 2. 8 Hasil LOS Kecepatan Rata-Rata Kota Surabaya (Sendy dkk 2018)

Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan pengamatan deformasi di sekitar Segmen Waru dan Segmen Surabaya, sehingga konsentrasi dari penelitian ini untuk melihat aktivitas yang terjadi pada Sesar Kendeng, mengingat dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa adanya potensi gempa di Surabaya. Berbeda dengan metode yang digunakan pada penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan metode PS-InSAR dengan rentang waktu pengamatan mulai tahun 2017 hingga tahun 2019. Hasil akhir dari pengolahan data SAR dari penelitian ini yaitu berupa kecematan deformasi dalam arah LOS akan divalidasi menggunakan data GPS tahun 2017-2018 oleh Anjasmara (2019). Validasi ini belum dilakukan oleh penelitian sebelumnya, sehingga diharapkan berdasarkan hasil validasi ini dapat diketahui tingkat keakuratan metode PS-InSAR dalam mengamati deformasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini adalah wilayah Kota Surabaya, Jawa Timur yang berada di daerah *coastal* dan terletak pada koordinat 07°11'00" – 07°21'00" Lintang Selatan dan 112°36'00" – 112°54'00" Bujur Timur.

Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian (Anjasmara dkk 2019)

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Surabaya tahun 2018, Kota Surabaya memiliki luas 326,36 km^2 dengan penduduknya berjumlah 2.874.699 juta jiwa. Batas-batas Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

Sebelah Utara : Selat Madura
Sebelah Timur : Selat Madura
Sebelah Selatan : Kabupaten Gresik
Sebelah Barat : Kabupaten Sidoarjo

3.2 Data dan Peralatan

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian

3.2.1 Data

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data. Berikut adalah data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

1. Set Data Citra Satelit Sentinel-1A menggunakan tipe *Single Look Complex* (SLC) *level* 1 dengan polarisasi VV mode operasional IW (*Interferometric Wide Swath Mode*) sebanyak 33 citra yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Daftar Set Data Citra Satelit Sentinel-1A yang Digunakan dalam Penelitian

No	ID File Citra	Tanggal	Arah
1	S1A_IW_SLC__1SDV_20170619T104946_20170619T105014_017101_01C81C_F3F2	26 Juni 2018	*Ascending*
2	S1A_IW_SLC__1SDV_20170725T104948_20170725T105016_017626_01D806_F799	25 Juli 2017	*Ascending*
3	S1A_IW_SLC__1SDV_20170818T104949_20170818T105017_017976_01E2A8_D480	18 Agustus 2017	*Ascending*
4	S1A_IW_SLC__1SDV_20170911T104950_20170911T105018_018326_01ED66_E1CD	11 September 2017	*Ascending*
5	S1A_IW_SLC__1SDV_20171029T104951_20171029T105019_019026_0202C5_B8E8	29 Oktober 2017	*Ascending*
6	S1A_IW_SLC__1SDV_20171122T104951_20171122T105019_019376_020DB3_ED28	22 November 2017	*Ascending*
7	S1A_IW_SLC__1SDV_20171216T104950_20171216T105018_019726_02189B_3505	16 Desember 2017	*Ascending*
8	S1A_IW_SLC__1SDV_20171228T104949_20171228T105017_019901_021E06_5DF5	28 Desember 2017	*Ascending*
9	S1A_IW_SLC__1SDV_20180109T104949_20180109T105017_020076_02238D_B266	1 Januari 2018	*Ascending*
10	S1A_IW_SLC__1SDV_20180226T104948_20180226T105016_020776_0239E1_B58C	26 Februari 2018	*Ascending*
11	S1A_IW_SLC__1SDV_20180322T104948_20180322T105016_021126_0244EB_53F9	22 Maret 2018	*Ascending*
12	S1A_IW_SLC__1SDV_20180415T104949_20180415T105017_021476_024FEA_F75B	15 April 2018	*Ascending*
13	S1A_IW_SLC__1SDV_20180509T104950_20180509T105018_021826_025AF0_8A8C	9 Mei 2018	*Ascending*
14	S1A_IW_SLC__1SDV_20180626T104953_20180626T105021_022526_0270AC_FB74	26 Juni 2018	*Ascending*
15	S1A_IW_SLC__1SDV_20180720T104954_20180720T105022_022876_027B23_B39B	20 Juli 2018	*Ascending*
16	S1A_IW_SLC__1SDV_20180801T104955_20180801T105023_023051_0280AD_BD97	1 Agustus 2018	*Ascending*

17	S1A_IW_SLC__1SDV_20180825T104956_20180825T105024_023401_028BE5_6C8D	25 Agustus 2018	*Ascending*
18	S1A_IW_SLC__1SDV_20180906T104957_20180906T105025_023576_029179_3489	6 September 2018	*Ascending*
19	S1A_IW_SLC__1SDV_20180930T104957_20180930T105025_023926_029CC4_86AF	30 September 2018	*Ascending*
20	S1A_IW_SLC__1SDV_20181024T104958_20181024T105026_024276_02A82F_8D1E	24 Oktober 2018	*Ascending*
21	S1A_IW_SLC__1SDV_20181129T104957_20181129T105025_024801_02BAE6_683E	29 November 2018	*Ascending*
22	S1A_IW_SLC__1SDV_20190128T104955_20190128T105023_025676_02DA2F_5419	28 Januari 2019	*Ascending*
23	S1A_IW_SLC__1SDV_20190221T104954_20190221T105022_026026_02E6AD_0BD6	21 Februari 2019	*Ascending*
24	S1A_IW_SLC__1SDV_20190317T104954_20190317T105022_026376_02F36A_CEF7	17 Maret 2019	*Ascending*
25	S1A_IW_SLC__1SDV_20190422T104956_20190422T105023_026901_030694_C823	22 April 2019	*Ascending*
26	S1A_IW_SLC__1SDV_20190528T104957_20190528T105025_027426_031810_B45C	28 Mei 2019	*Ascending*
27	S1A_IW_SLC__1SDV_20190621T104958_20190621T105026_027776_0322AC_D481	21 Juni 2019	*Ascending*
28	S1A_IW_SLC__1SDV_20190715T105000_20190715T105028_028126_032D3E_BB0D	15 Juli 2019	*Ascending*
29	S1A_IW_SLC__1SDV_20190820T105002_20190820T105030_028651_033E04_352B	20 Agustus 2019	*Ascending*
30	S1A_IW_SLC__1SDV_20190925T105004_20190925T105032_029176_035024_1CB5	25 September 2019	*Ascending*
31	S1A_IW_SLC__1SDV_20191019T105004_20191019T105032_029526_035C3A_5DF5	19 Oktober 2019	*Ascending*
32	S1A_IW_SLC__1SDV_20191124T105004_20191124T105032_030051_036E81_B39D	24 November 2019	*Ascending*
33	S1A_IW_SLC__1SDV_20191218T105003_20191218T105031_030401_037A9E_87B5	18 Desember 2019	*Ascending*

2. Data Orbit Satelit Radar rentang waktu tahun 2017-2019.
3. DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) 30meter.
4. Data deformasi hasil pengukuran GPS Kota Surabaya tahun 2017-2018 (Anjasmara, 2019).

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

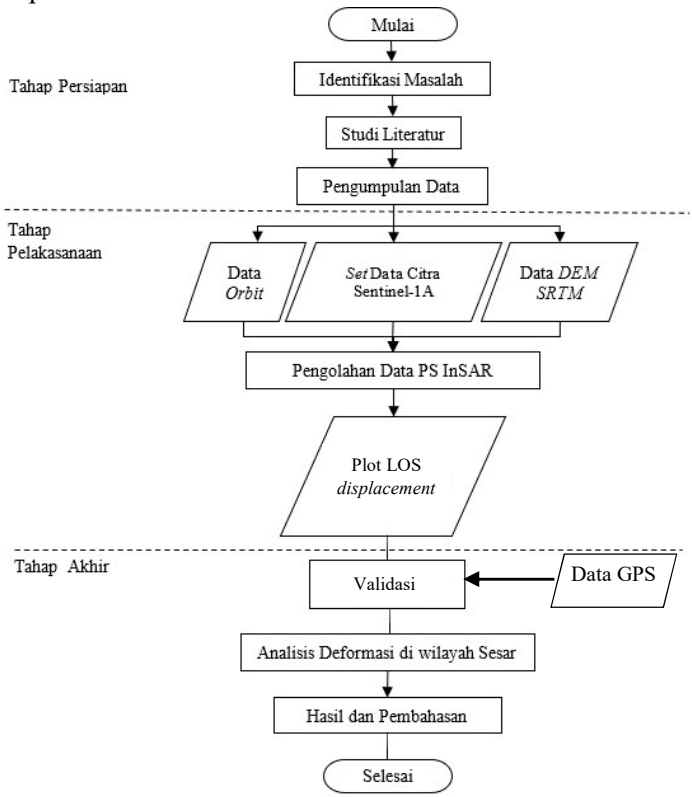
- PC ASUS Intel *core* 17, memory 64 Gb, *harddisk* 1 Tb digunakan untuk seluruh proses pengolahan data dan penulisan laporan.

2. Perangkat Lunak (*Software*)
   - Sistem Operasi Windows 8 digunakan untuk menjalankan *software* SARPROZ dan pembuatan laporan.
   - SARPROZ
   - *Generic Mapping Tool* (GMT) digunakan untuk *plotting* dan *coding* hasil pengolahan data SAR.
   - *Matlab 8* digunakan untuk menjalankan *software* SARPROZ.

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Tahapan Penelitian

Berikut diagram alir metodologi yang akan dilaksanakan pada penelitian ini.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah penjelasan dari tahapan diagram alir penelitian di atas.

1. Tahap Persiapan
   a. Identifikasi Masalah

      Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mengetahui deformasi di Kota Surabaya akibat aktivitas Sesar Kendeng. Pada penelitian ini menggunakan data citra Sentinel-1 dengan pengamatan pada tahun 2017-2019 menggunakan teknik PS-InSAR, serta menggunakan pengamatan hasil deformasi data GPS secara berkala pada tahun 2017-2018.

   b. Studi Literatur

      Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan deformasi, SAR, PS-InSAR, GPS, dan literatur lainnya.

   c. Pengumpulan Data

      Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan dataset yang diperlukan untuk melakukan penelitian, yaitu Set Data Citra Satelit Sentinel-1A menggunakan tipe SLC *level* 1 *dual polarisation* (SDV) dengan polarisasi VV mode operasional IW (*Interferometric Wide Swath Mode*), Data *Precise Orbit*, DEM SRTM 30meter dan hasil deformasi data GPS yang didapat dari pengolahan tim peneliti Teknik Geomatika ITS untuk validasi.
2. Tahap Pelaksanaan
   a. Pengolahan Data PS-InSAR

      Pada tahap ini dilakukan pengolahan data set citra SAR Sentinel-1A dengan metode PS-InSAR menggunakan perangkat lunak SARproZ.
3. Tahap Akhir
   a. Validasi Data GPS

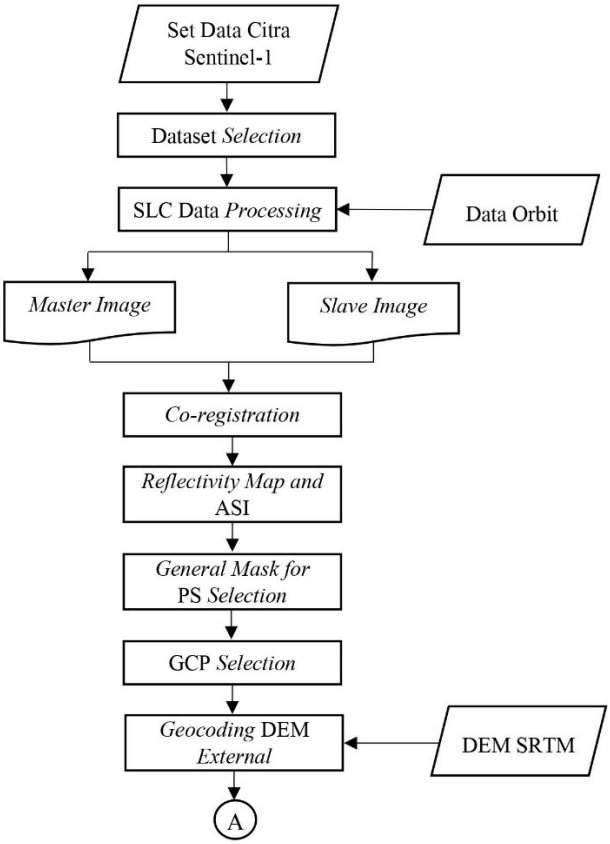
      Pada tahap ini dilakukan validasi antara hasil *mean* LOS *velocity* dari pengolahan PS-InSAR dengan LOS *GPS* hasil konversi dari data GPS ke dalam LOS sehingga dapat dilakukan analisa deformasi di Kota Surabaya akibat Sesar Kendeng.

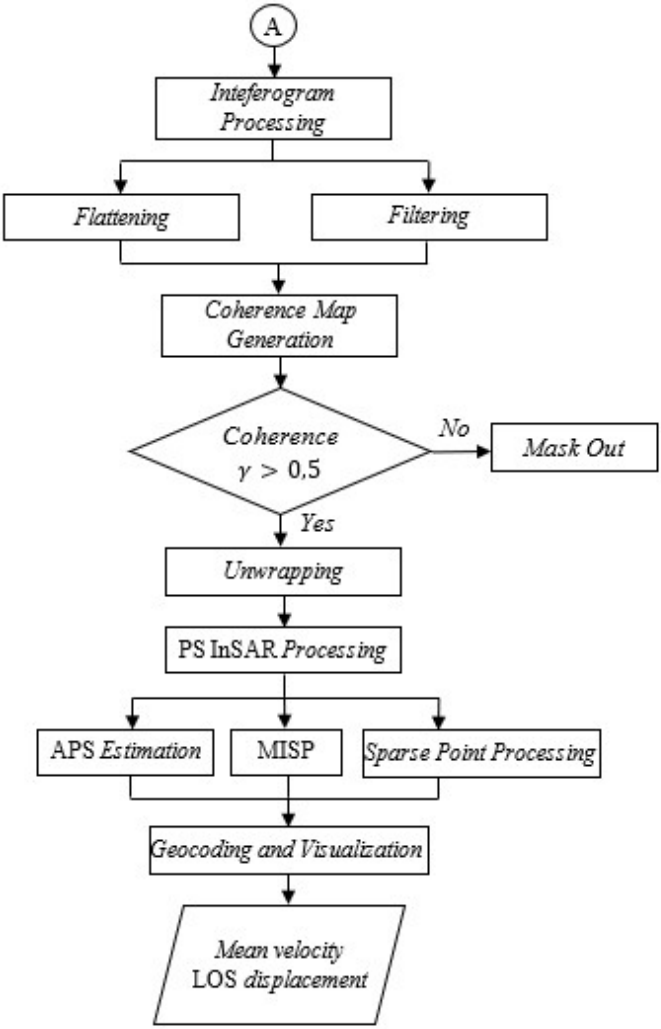
b. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini diberikan hasil dan pembahasan analisa deformasi di Kota Surabaya yang didapat serta menyusun laporan dari penelitian Tugas Akhir ini.

3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Diagram alir pengolahan PS-InSAR yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.





Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR

Berikut ini adalah penjelasan dari tahapan diagram alir pengolahan PS-InSAR di atas.

a. *Dataset Selection*

Tahap ini dilakukan untuk memilih folder berisi set data citra SAR dalam format *Single Look Complex* (SLC) yang akan digunakan dalam pengolahan. Pada pemilihan file ini didapatkan informasi secara otomatis mengenai set data citra yang akan digunakan.

Gambar 3. 4 *Dataset Selection*

b. SLC *Data Processing*

Tahap ini bertujuan untuk menentukan parameter dari data citra yang akan digunakan pada proses pengolahan nanti. Parameter tersebut seperti polarisasi dan *subswath* citra sesuai dengan daerah yang akan dianalisa. Dari parameter yang telah ditentukan selanjutnya dilakukan pengunduhan data orbit satelit dan data cuaca serta dilakukan pemilihan *Area of Interest*.

c. *Corregistration*

Tahap ini merupakan proses menentukan hubungan antara dua citra SAR yang didefinisikan sebagai citra master dan slave. Baik tidaknya data yang terkoregistrasi ditentukan dari nilai koherensi pada akhir proses pengolahan. Dimana nilai koherensi tersebut antara 0 hingga 1. Nilai yang mendekati angka 1 menunjukkan koherensi yang kuat antara kedua citra tersebut.

d. *Reflectivity Map and ASI*

Perhitungan nilai *Amplitude Stability Index* dari tiap piksel citra serta pembentukan peta reflektifitas yang menunjukkan rata-rata amplitude dari sekumpulan citra yang digunakan. Menurut Gonmuru dan Kumar (2018), *Amplitude Stability Index* didapatkan dari:

$$ASI = 1 - DA \tag{3.1}$$

Keterangan:

ASI = *Amplitude Stability Index*

DA = *Dispersion Amplitude*

$$D_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} \tag{3.2}$$

Keterangan:

σ_A = Standar deviasi *amplitude*

μ_A = Rata-rata *amplitude*

e. *General Mask for PS Selection*

Tahap ini bertujuan untuk membentuk titik-titik *sparse* yang nantinya digunakan untuk penentuan *point scatterers*.

f. *GCP Selection* dan *Geocoding DEM External*

Tahap ini bertujuan untuk menentukan *Ground Control* Point (GCP) serta mengkombinasi *synthetic* amplitude dan eksternal DEM pada koordinat SAR. Hal ini bertujuan dalam proses konversi data SAR dari geometri *range* azimuth menjadi sistem koordinat permukaan bumi. *Geocoding* awal ini menggunakan data DEM sebagai parameter dalam mengkonversi koordinat citra menjadi koordinat permukaan. GCP sendiri berfungsi sebagai titik acuan dalam pengolahan data. GCP dalam penelitian ini ditentukan dari *auto* GCP dengan bantuan data DEM dan juga dari hasil *screening* secara visual pada titik yang tidak mengalami deformasi serta memiliki nilai koherensi yang tinggi, ini dilakukan pada tahap pemilihan *reference point* pada pengolahan PS-InSAR.

g. *Interferogram Processing*

Pembentukan interferogram dari masing-masing citra akan menghasilkan beda fase dimana perbedaan fase ini dapat menunjukkan identifikasi awal adanya perubahan pada permukaan bumi. Parameter dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *coherence threshold* > 0,5 (Sadeghi dkk 2017)

h. *Coherence Map Generation*

Pada tahap ini dilakukan pembacaan hasil interferogram berdasarkan *load image* graphics serta dilakukan perhitungan

nilai *spatial coherence* atau rata-rata nilai koherensi dari set interferogram.

i. Unwrapping

Wrapped phase pada tiap interferogram bernilai modulo 2π (-π, π) dimana nilai ini harus melalui proses *unwrapping* untuk mendapatkan nilai *phase* yang sebenarnya. Pada proses ini, *atmospheric decorrelation* akan dihilangkan sehingga informasi yang didapat lebih jelas. Algoritma *phase unwrapping* yang digunakan yaitu dengan metode lokal dimana melakukan *unwrapping pixel to pixel* atau sebuah *pixel* berdasarkan *pixel-pixel* ketetanggaannya (Adi dkk 2009).

j. PS InSAR Processing

Bagian ini terbagi menjadi 3 tahapan utama yaitu:

- *Atmospheric Phase Screen Estimation*, yaitu pembentukan awal dari titik PS dimana parameter yang digunakan adalah *Amplitude Stability Index* (ASI) yang dipilih berdasarkan *Amplitude Dispersion Index* dengan nilai batas < 0,2. Nilai ini akan memberikan peluang titik yang terpilih memiliki nilai ASI yang tinggi. Hal ini juga memastikan bahwa titik PS yang memiliki *decorrelation noise* rendah yang terpilih. Parameter nilai ASI yang digunakan adalah 0,8 (Farova dkk 2019). Pada tahap ini dilakukan pemilihan *reference point* yang berguna untuk acuan pergerakan dari titik-titik PS final, dimana dianggap sebagai titik yang stabil. Setelah itu dilakukan estimasi nilai *Atmospheric Phase Screen* (APS) yang bertujuan untuk menghilangkan efek atmosferik akibat perubahan secara temporal dan spasial dari keadaan atmosfer.
- *Multi Image Sparse Processing*

  Tahapan ini akan membentuk *amplitude time series* dari titik PS yang telah terpilih. Proses ini juga akan membentuk perubahan permukaan tanah yang terjadi dalam rentang data SAR yang digunakan.

Gambar 3. 6 *Multi Image Sparse Processing*

- *Sparse Point Processing*

  Proses pembentukan titik-titik final PS dari *Point Scatterers Candidate* pada tahap sebelumnya. Titik PS didapatkan setelah pembentukan phase residual. Fase residu adalah sisa dari penghilangan APS dan nilai estimasi parameter. Parameter-parameter yang digunakan sama dengan parameter ketika proses APS *Estimation*.

k. *Geocoding and Visualization*

Tahap ini bertujuan untuk mengkonversi koordinat titik-titik PS menjadi koordinat bumi. Titik PS dikonversi ke dalam koordinat geografis. Pada tahap ini, hasil akhir titik-titik PS dapat di tampilkan dalam *Google Earth*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

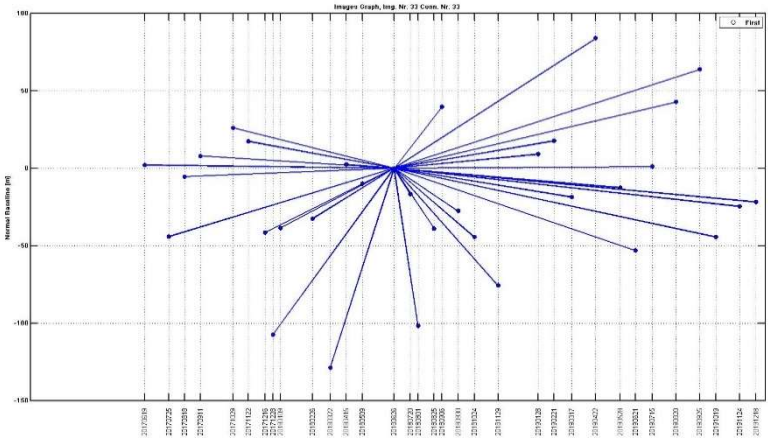
4.1.1 Baseline Plot

Pada metode interferometri data SAR terdapat dua parameter yang dapat mempengaruhi kenaikan derajat dari koherensi yang merupakan ukuran langsung untuk menunjukkan antara dua pengamatan, yakni *perpendicular baseline* yang memberikan indikasi terkait sensitivitas terhadap tinggi topografi, banyaknya dekorelasi akibat gradien fase, dan efektivitas dari phase unwrapping. Selanjutnya adalah *temporal baseline* yang bertujuan untuk mereduksi fase sinyal akibat topografi dan noise akibat gradien fase yang idealnya sesingkat mungkin (Ferreti 2001).

Untuk memperoleh nilai koherensi pasangan citra yang baik, diperlukan *temporal baseline* yang tidak lebih dari 6 bulan dan *perpendicular baseline* yang tidak lebih dari 150 m (Ferreti 2007). Semakin besar nilai dari *temporal* dan *perpendicular baseline*, maka semakin kecil nilai koherensi, begitu juga sebaliknya.

Gambar 4.1 menunjukkan distribusi posisi *scene center* pada 33 citra SAR yang digunakan dalam pengolahan berdasarkan *perpendicular* dan *temporal baseline*. Citra dengan akusisi 6 Juni 2018 dipilih sebagai *master*, sedangkan 32 citra lainnya berperan sebagai *slave*. Pada penelitian ini, pemilihan citra master dilakukan dengan menggunakan satu citra *master* saja sebagai referensi. Citra master ini merupakan citra yang paling optimal, (pada penelitian ini menggunakan master yg sama) yang mana terpilih berdasarkan *baseline perpendicular* dan *baseline temporal* yang terpendek dari seluruh citra yang digunakan.

Berdasarkan sebaran distribusi citra SAR pada Gambar 4.1 letak citra master berada di tengah di antara semua sebaran data. Besar estimasi *perpendicular* dan *temporal baseline* dari 32 citra yang mengacu pada citra master ditunjukkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 1 *Baseline Distribution*

Tabel 4. 1 Estimasi Besar Perpendicular dan Temporal Baseline mengacu pada Citra Master

Tanggal Akuisisi	Absolut Orbit	*Perpendicular Baseline* (m)	*Temporal Baseline* (hari)
19-06-2017	17101	2	-372
25-07-2017	17626	-44	-336
18-08-2017	17976	-6	-312
11-09-2017	18326	8	-288
16-12-2017	19726	-42	-192
28-12-2017	19901	-108	-180
01-01-2018	20076	-39	-168
26-02-2018	20776	-33	-120
22-03-2018	21126	-129	-96
15-04-2018	21476	2	-72

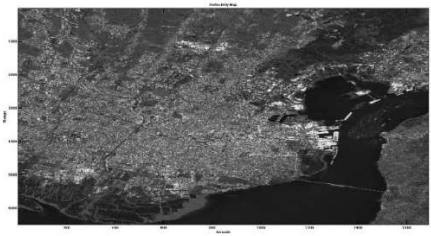
09-05-2018	21826	-10	-48
26-06-2018	22526	0	0
20-07-2018	22876	-17	24
01-08-2018	23051	-102	36
25-08-2018	23401	-39	60
06-09-2018	23576	40	72
30-09-2018	23926	-28	96
24-10-2018	24276	-44	120
29-11-2018	24801	-76	156
28-01-2018	25676	9	216
21-02-2019	26026	18	240
17-03-2019	26376	-19	264
22-04-2019	26901	84	300
28-05-2019	27426	-12	336
21-06-2019	27776	-53	360
15-07-2019	28126	1	384
20-08-2019	28651	43	420
25-09-2019	29176	64	456
19-10-2019	29526	-44	480
24-11-2019	30051	-25	516
18-12-2019	30401	-22	540

Jarak perpendicular terjauh terletak pada pasangan citra *master* tanggal 6 Juni 2018 dan citra *slave* tanggal 25 September 2019 yaitu sebesar 64 m. Sedangkan jarak temporal terjauh terletak

diantara citra master tanggal 6 Juni 2018 dan citra slave tanggal 18 Desember 2019 yaitu 540 hari. Jauhnya perbedaan waktu pada tiap pasangan citra dapat mengakibatkan dekorelasi temporal dan rendahnya koherensi karena adanya perubahan kondisi objek diantara selang waktu pengamatan. Sedangkan jauhnya selisih *perpendicular baseline* dapat mengakibatkan dekorelasi spasial, ini mempengaruhi geometrik citra. Semakin panjang *perpendicular baseline* antara pasangan citra *master* dan *slave*, maka tingkat koherensi akan terus menurun karena semakin jauh perbedaan posisi satelit dalam melakukan pencitraan maka nilai dari *incident angle* antar kedua posisi relative juga akan semakin berbeda. Hal ini menyebabkan terjadinya *low coherence value*. Sedangkan semakin jauh jarak temporal dari dua data SAR akan menyebabkan dekorekasi temporal (ketidaksesuaian antara citra *master* dan *slave*).

4.1.2 ***Reflectivity Map***

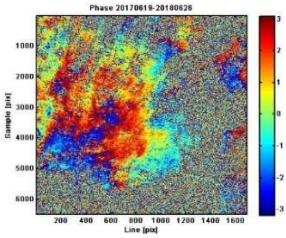
Reflectivity Map merupakan nilai rata-rata amplitude dari dataset citra yang digunakan dalam pengolahan. *Reflectivity Map* menghasilkan tampilan atau citra dalam bentuk pantulan yang dihasilkan oleh objek yang ada di permukaan bumi sebagai rata-rata temporal dari semua dataset citra yang telah dipilih. Pada umumnya, nilai dari *reflectivity map* berada pada rentang 0-3. Nilai maksimum menunjukkan *backscatterers* yang kuat pada *scene* (Periz 2017). Semakin tinggi nilai dari *reflectivity map* maka warna pada piksel pada citra semakin terang. Gambar 4.2 menunjukkan peta reflektifitas yang terbentuk pada proses pengolahan.



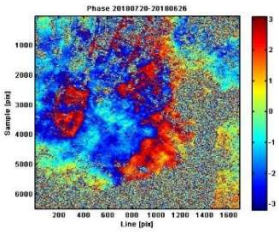
Gambar 4. 2 *Reflectivity Map*

4.1.3 ***Interferogram***

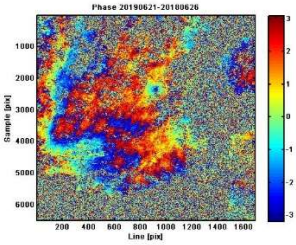
Pada proses InSAR memanfaatkan fungsi pengukuran *phase* untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua citra kompleks atau *Single Look Complex* (SLC) pada permukaan yang sama sehingga menunjukkan adanya pergerakan pada permukaan bumi. Dua data tersebut terdiri dari *master* (referensi) dan *slave*, keduanya diproses sehingga membentuk *interferogram* yang didalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude* (Resmi 2016).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 3 *Sample* Pasangan Citra 2017-2019 (a) Interferogram 26 Juni 2018 – 26 Juni 2018 (b) Interferogram 26 Juni 2018 – 20 Juli 2018

Gambar 4. Merupakan hasil interferogram yang telah dikurangkan dengan efek topografi yang berupa citra *phase* dan *amplitude* dalam sistem koordinat radar. Pengurangan efek topografi pada citra interferogram dilakukan dengan menggunakan data DEM SRTM 30 meter. Perubahan warna atau *fringe* menunjukkan adanya pergerakan pada permukaan bumi.

Adanya *noise* dan atmosfer sangat berhubungan dengan gangguan panas terhadap nilai *phase* yang diperoleh. Oleh karena itu dalam proses ini dilakukan proses *filtering* menggunakan *Goldstein Model*. *Fitering* merupakan proses menaikkan nilai *Signal Noise Ratio* (SNR) yang terdapat pada *interferogram* dikarenakan pengaruh dari penjalaran sinyal Kembali ke medium udara atau atmosfer. Tujuan utama dari proses *filtering* adalah mempertajam area yang nilai koherensinya masih relative besar. Nilai *phase* dari kedua pasangan tersebut masih dalam satuan *phase* (radian) dengan rentang $-\pi$ sampai π. Sehingga menimbulkan ambiguitas dalam menghitung siklus *phase*. Untuk menyelesaikan permasalah tersebut, maka dilakukan proses *unwrapping*.

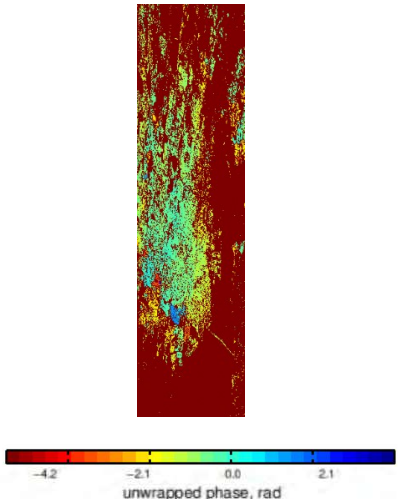
4.1.4 Citra *Interferogram* Setelah *Unwrapping*

Proses *unwraping* adalah proses untuk menghilangkan ambiguitas *phase* atau *noise* sehingga didapatkan *phase* yang absolut. Setelah citra *interferogram* di *unwrap* pola deformasi area dapat diketahui meskipun masih dalam satuan *phase*.

Banyaknya *blank unwrapping* pada studi kasus ini disebabkan dekorelasi atau ketidaksamaan area akibat selisih jarak *baseline* dan temporal yang terlalu jauh. Menurut studi korelasi *interferogram*, penyebab kosongnya informasi pada daerah tersebut berkaitan dengan suhu permukaan. Suhu

permukaan rendah dapat menurunkan tingkat korelasi atau *low coherence* (Tobita dkk 1998).

Proses *filtering* juga dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan Goldstein Modeling berfungsi untuk melakukan pemfilteran yang bertujuan mereduksi fase noise yang berkorelasi dalam dua gambar SAR, sehingga noise yang terdapat dalam setiap pasangan gambar SAR dihilangkan (Goldstein & Werner, 1998).



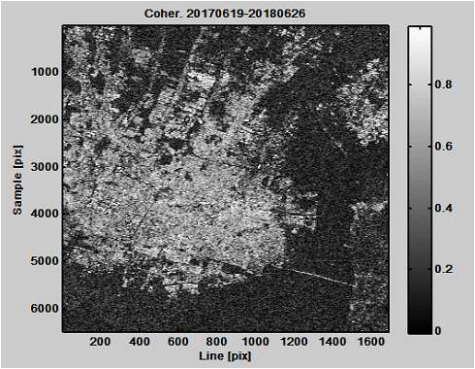
Gambar 4. 4 Sampel *Interferogram* setelah proses *unwrapp*

4.1.5 Koherensi Citra SAR

Koherensi menunjukkan sejauh mana kemiripan tiap piksel antara citra master dan slave dengan nilai 0 sampai 1. Hilangnya atau kosongnya data pada beberapa piksel (koherensi nol) disebabkan oleh dekorelasi temporal sehingga nilai koherensi menurun.

Merujuk pada Gambar 4.5 menunjukkan beberapa area yang tidak memiliki informasi piksel karena rendahnya nilai koherensi

akibat dekorelasi temporal. Dekorelasi temporal tersebut terjadi karena adanya perubahan pada topografi, vegetasi, serta gangguan atmosfer sehingga mengakibatkan perubahan pada karakterisitik objek yang diamati. Kondisi troposfer antara dua citra dapat mempengaruhi perubahan refraksi/ pembiasan sinyal sehingga dapat menurunkan nilai koherensi (Hansen 2002).



Gambar 4. 5 Visualisasi *Image Coherence*

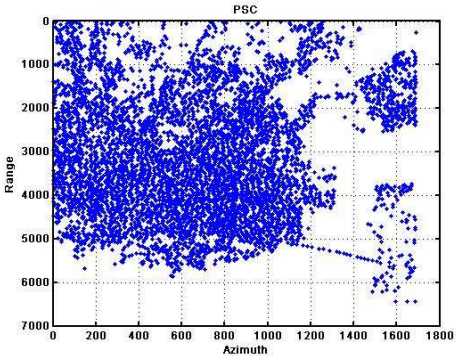
Salah satu contoh koherensi rendah ditunjukkan pada area mangrove yang berada di Surabaya Timur, pertumbuhan vegetasi atau pergerakan daun dapat menyebabkan adanya perbedaan phase dari dua pengambilan data. Bagaimanapun perbedaan kondisi saat masa tanam, tumbuh dan panen juga menunjukkan adanya variasi phase disepanjang data serta dapat menurunkan nilai koherensi, kondisi ini terjadi di sekitar Kecamatan Benowo yang lokasinya berada di sebuah sawah yang ditanami padi.

Pada penelitian ini digunakan parameter *coherence threshold* sebesar 0,5 dimana piksel yang mimiliki koherensi bawah 0,5 akan terhapus. Pemilihan 0,5 dilakukan untuk mempertahankan informasi *mean* LOS *Velocity* dan menyeleksi atau meminimalisir rendahnya koherensi pada area studi.

4.1.6 Analisis *Atmospheric Phase Screen* (APS) *Estimation*

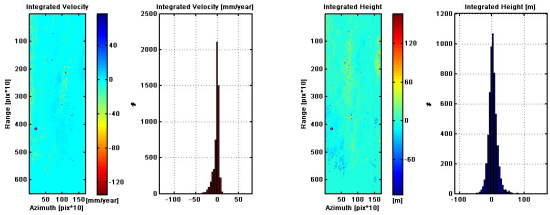
SAR dipengaruhi oleh kondisi atmosfer yang berbeda pada saat akuisisi. Uap air menunda sinyal radar, distribusi uap air yang bervariasi secara spasial juga menyebabkan perbedaan keterlambatan pantulan gelombang seluruh gambar SAR. APS diperkirakan menggunakan filter temporal spasial, taksiran APS dihapus dari hasil estimasi dan fase yang tersisa kemudian digunakan untuk memperkirakan kesalahan ketinggian topografi dan kecepatan deformasi linier (Beladam dkk 2019).

Dalam tahapan penelitian ini, APS estimation juga berfungsi dalam penentuan *reference point*. Dimana titik acuan ini adalah titik yang stabil dan hampir tidak dipengaruhi perubahan atau deformasi yang terjadi disekitar kawasan penelitian. Untuk mendapatkan *reference point* dilakukan pembentukan titik PS dengan parameter Dispersion < 0,25 atau nilai ASI > 0,75 (Ferretti dkk 2001) namun dalam penelitian ini menggunakan *Amplitude Stability Index* (ASI) 0,8 (Fárová dkk 2019) dengan jumlah poin yang terbentuk 25161. Pembentukan titik awal ini disebut juga *Permanent Scatterer Candidats* (PSC) Titik yang menjadi *reference* dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Persebaran *PSC*

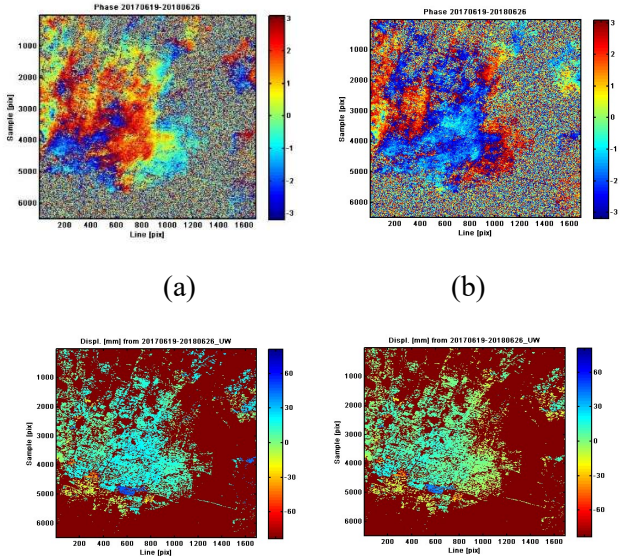
Reference point dipilih secara manual dengan cara melihat pada daerah yang mayoritas memiliki *displacement* 0 (nol) berdasarkan skala bar yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa titik referensi berada pada kawasan yang cukup stabil. Titik yang dianggap stabil karena perpindahan kumulatif = kecepatan × waktu. Pada Gambar 4.7 puncak histogram *integrated velocity* dan histogram *ntegrated residual height* berada pada nilai nol, ini artinya mayoritas poin memiliki kecepatan relatif nol ketika membandingkan dengan titik referensi (Qin, 2018).



(a) (b)

Gambar 4. 7 Histogram *Integrated Residual Height* dan *Velocity*

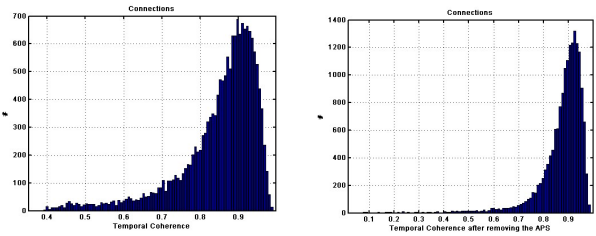
Pada Gambar 4.8 menunjukkan perbedaan hasil *phase interferogram* dan *displacement* sesudah dan sebelum dilakukan *Atmospheric Phase Screen* (APS). Dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan APS, terdapat daerah yang mengalami *uplift* dengan rentang 0-30 mm, namun setelah dilakukan proses penghapusan efek atmosfer pada hasil *displacement*, rentang daerah yang mengalami *uplift* menjadi dalam rentang 0-10 mm. Hal ini dapat terbukti bahwa proses APS dapat mengurangi kesalahan pada hasil *displacement* yang terjadi.



(a) (b)

(c) (d)

Gambar 4. 8 (a) *phase* sebelum dilakukan APS (b) *phase* setelah dilakukan APS (c) tampilan plotting *displacement* sebelum dilakukan APS (d) tampilan plotting *displacement* sebelum dilakukan APS



(a) (b)

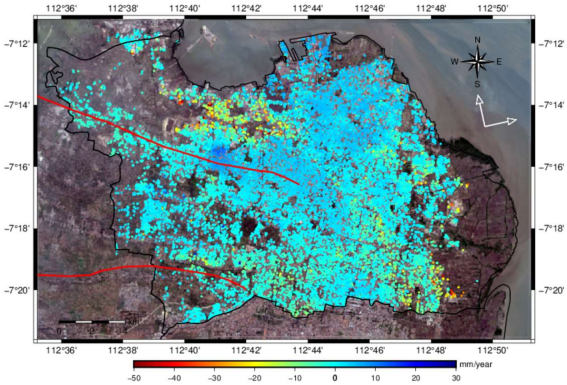
Gambar 4. 9 Koherensi Temporal PSC (a) sebelum *APS removal* (b) sesudah *APS Removal*

Hasil dari estimasi APS dikatakan baik jika *temporal coherence* pada *Point Sparse Candidates* lebih tinggi dibandingkan sebelum proses APS. Dapat dilihat pada Gambar 4.9 bahwa grafik temporal coherence meningkat pada nilai 0,9 dan koherensi rendah terhapuskan.

4.2 Rata-Rata Kecepatan Deformasi (*Mean LOS Velocity)*

Data yang dihasilkan dari proses pengolahan terakhir yakni *Sparse Point Processing* selanjutnya diekstraksi sehingga didapat persebaran titik PS yang menunjukkan *mean velocity* dari area studi pada arah LOS.

Pada metode PS-InSAR, PS didefinisikan oleh stabilitas fase yang dipilih pada PS candidates berdasarkan karakteristik fase yang mana bergantung pada *amplitude dispersion*, sehingga *PS candidates* dapat dipilih dengan menghitung *amplitude dispersion index* dan hanya memilih piksel dengan nilai *amplitude dispersion index* kurang dari nilai *threshold* yang telah ditentukan (Harris dkk 2016). Metode tersebut memiliki tingkat kesuksesan tinggi dalam pemilihan PS yang cerah, misalnya bangunan tertentu buatan manusia yang memiliki *signal to ratio* (SNR) tinggi (>10). Nilai *amplitude dispersion* ini bernilai tinggi (>0,4) pada wilayah yang didominasi oleh vegetasi dan dapat bernilai lebih rendah pada wilayah urban. Dapat dilihat pada Gambar 4.5, persebaran PS lebih banyak dan lebih rapat pada daerah urban yang memiliki banyak bangunan buatan manusia. Sedangkan pada daerah yang banyak terdapat vegetasi persebaran PS lebih sedikit dan kurang rapat. Hal tersebut dikarenakan penggunaan *amplitude analysis* sangat baik pada daerah urban, sedangkan untuk kerapatan piksel PS yang diidentifikasi oleh *amplitude dispersion* di medan alam pada umumnya cenderung rendah (Farina dkk 2006).



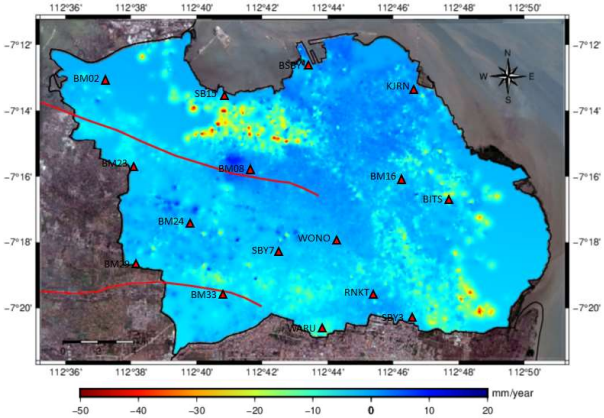
Gambar 4. 10 *Mean LOS Velocity*

Dengan pengolahan menggunakan SARProz dihasilkan pola sebaran PS yang menunjukkan *mean velocity* dari perpindahan pada arah LOS untuk seluruh *area of interest* (AOI). Pada Gambar 4.5 didapatkan rata-rata kecepatan deformasi yakni antara -50 mm/tahun dan +20 mm/tahun. Jika dilihat dari pola deformasinya, Surabaya Utara mayoritas mengalami *land subsidence*. Kecepatan deformasi di Asemrowo mencapai -50 mm/tahun dimana nilai ini merupakan nilai *subsidence* terbesar di Kota Surabaya. Karakter tanah basah yang mudah bergerak di Surabaya Utara menyebabkan mayoritas di wilayahnya terjadi *land subsidence* (Prasetyo 2012). Selain itu daerah tersebut merupakan daerah industri dimana intensitas kendaraan berat yang melalui daerah tersebut cukup tinggi. Sedangkan Surabaya Barat mayoritas mengalami *uplift*. Penurunan di daerah utara Surabaya ini salah satunya dipengaruhi oleh faktor lokasi yang berbatasan dengan laut sehingga menyebabkan adanya intrusi air laut. Jika dilihat dari topografinya, antara Surabaya Utara dan Barat mempunyai karakteristik topografi yang berbeda. Perbedaan topografi tersebut yang menjadi penyebab adanya perbedaan pola deformasi dimana Surabaya Utara cenderung turun dan Surabaya Barat cenderung naik,

ditambah lagi dengan sesar Kendeng yang melewati Surabaya Barat. Surabaya Selatan sebagian mengalami *uplift* dan sebagian *subsidence* namun kecil, sedangkan *subsidence* di Surabaya Timur sebagian besar terjadi di lokasi yang jaraknya tidak jauh dengan kawasan mangrove dan pantai.

4.3 Validasi Hasil PS-InSAR dengan Hasil Pengolahan Data GPS

Dari hasil didapatkan nilai *mean* LOS *velocity* untuk setiap titik PS. Hasil ini digunakan untuk kebutuhan validasi titik PS dengan hasil pengolahan data titik GPS yang telah dilakukan sebanyak 4 kala (periode tahun 2017-2018).



Gambar 4. 11 Stasiun GPS untuk Pengamatan Deformasi Kota Surabaya

Terdapat 16 titik GPS yang digunakan dalam validasi hasil dari pengolahan data SAR ini. Untuk memvalidasi, hasil dari pengolahan data GPS harus dikonversi ke dalam LOS *displacement*, dikarenakan vektor pergeseran SAR dalam 1D sepanjang LOS sistem radar yang terdiri dari komponen perpindahan vertikal, easting dan northing. Berikut merupakan

formula yang digunakan untuk mengkonversi dari 3D *displacement* ke LOS *displacement*.

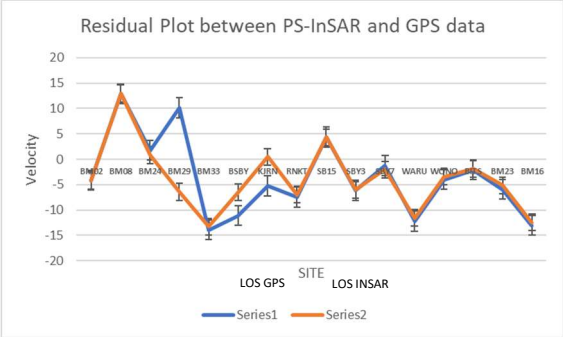
$$[LOS] = [-\sin(\theta)sin(\alpha) \ -\sin(\theta)\cos(\alpha) \ \ \cos(\theta)]\begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Hal ini dikarenakan keterbatasan informasi data SAR dari perbedaaan sudut pandang (θ = *incidence angle*) dan orbit di periode waktu yang sama, sedangkan data GPS berupa *vertical displacement* dan *horizontal displacement*. Data *cummulative displacement* dari data SAR yang digunakan yaitu dalam rentang tiga tahun (2017-2019), sedangkan data *displacement* GPS yang digunakan untuk validasi yaitu dalam rentang dua tahun (2017-2018). Hasil konversi dan perbandingan *displacement* antara keduanya dapat dilihat pada Tabel 4. 2 berikut.

Tabel 4. 2 Perbandingan Nilai LOS *displacement* SAR dengan LOS *displacement* GPS

Stasiun	LOS *displacement* SAR (mm)	LOS *displacement* GPS (mm)	Nilai Residu (mm)
BM02	-4,159	-4,217	0,058
BM08	12,874	12,962	0,088
BM24	1,774	0,825	0,949
BM29	10,156	-6,440	16,596
BM33	-13,925	-13,297	0,628
BSBY	-11,095	-6,515	4,580
KJRN	-5,215	0,458	5,673
RNKT	-7,465	-6,971	0,494
SB15	4,394	4,297	0,097

SBY3	-6,162	-6,038	0,124
SBY7	-1,236	-2,053	0,817
WARU	-12,169	-11,575	0,594
WONO	-4,013	-3,426	0,587
BITS	-2,102	-1,893	0,209
BM23	-5,915	-5,136	0,779
BM16	-13,015	-12,465	0,550



Gambar 4. 12 Residual Plot antara hasil LOS GPS dengan LOS PS-INSAR

Dari hasil perbandingan pada Tabel 4.2 dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan nilai antara data SAR dengan data GPS hasil konversi pada titik BM29 dan BSBY, dan KJRN. Hal ini dapat dianalisa bahwa pengaruh atmosfer terhadap hasil pengolahan data SAR belum dapat dihilangkan sepenuhnya. Pengaruh atmosfer yang paling berpengaruh pada hasil pengolahan adalah pengaruh akibat efek troposfer. Efek troposfer pada perambatan gelombang elektromagnetik akan menyebabkan keterlambatan phase yang akan berpengaruh terhadap penentuan jarak (Hansen 2001). Namun, berdasarkan hasil validasi ke 13 titik lainnya memiliki nilai residu yang kecil, hal ini dapat dianalisa

bahwa metode PS-InSAR dapat digunakan dalam pengamatan deformasi seperti pengamatan GPS. Terkait perbedaan nilai yang ditunjukkan oleh nilai residu di atas, hal tersebut dikarenakan perbedaan metode dan data yang digunakan dalam pengolahan data SAR dan GPS.

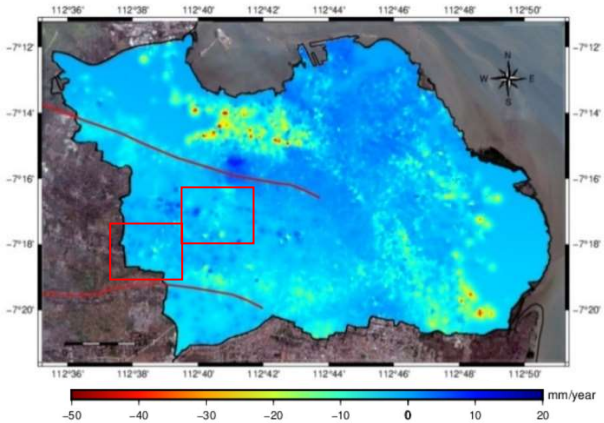
4.4 Analisis Deformasi Hubungannya dengan Kondisi Geologi dan Aktivitas Sesar Kendeng

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, Kota Surabaya dilalui oleh Sesar Kendeng dengan dua segmen aktif, yaitu Segmen Surabaya dan Waru. Berdasarkan kondisi geologi, mayoritas piksel-piksel yang menunjukkan land subsidence terletak di area yang didominasi oleh aluvial. Tanah aluvial merupakan tanah endapan, dibentuk dari lumpur dan pasir halus yang mengalami erosi tanah. Tanah aluvial banyak ditemukan di dataran rendah, di sekitar muara sungai, rawa-rawa, lembah, maupun di kanan kiri aliran sungai besar. Jenis tanah ini masih dalam proses kompaksi dan konsolidasi, apabila terdapat beban bangunan-bangunan tinggi atau area padat permukiman ini akan menimbulkan turunnya permukaan tanah di kawasan tersebut.

Berdasarkan analisa yang dijelaskan pada sub bab sebelumnya, titik yang mengalami penurunan tanah tersebut terletak di daratan aluvial. Sedangkan, kenaikan tanah sebagian besar terjadi di sepanjang formasi Kalipucang, Lidah, dan Pucangan. Rata-rata kenaikan muka tanah yang terjadi di beberapa formasi ini mencapai +20 mm/tahun, kenaikan muka tanah paling besar terjadi di area yang berada pada formasi Pucangan, tepatnya di Kelurahan Lontar, Kecamatan Lakarsantri. Rata-rata kecepatan deformasi hasil pengolahan menunjukkan adanya perbedaan pola di antara daratan yang dilewati oleh garis sesar. Di sebelah utara garis sesar segmen Surabaya (Surabaya Utara), menunjukkan deformasi vertikal berupa penurunan muka tanah, sedangkan di sebelah garis sesar

segmen Surabaya (Surabaya Barat) menunjukkan deformasi vertikal berupa kenaikan muka tanah.

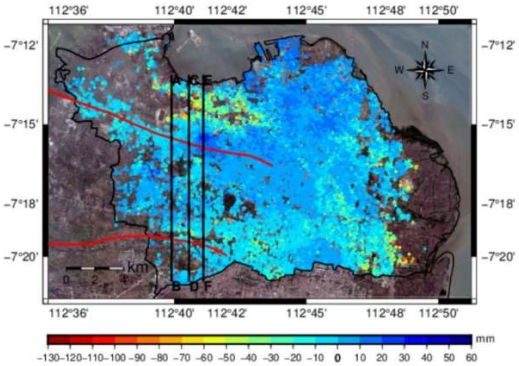
Kenaikan pada titik di daerah barat ini juga dipengaruhi oleh deformasi lokal seperti pengaruh perubahan kadar air dalam pori-pori tanah. Dalam penelitian Giovanni (2018) menyatakan bahwa daerah Surabaya Barat ini diindikasikan tergolong sebagai tanah ekspansif dan menunjukkan adanya potensi pengembangan yang tinggi. Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang mudah mengalami perubahan volume akibat adanya perubahan kadar air dalam pori-pori tanah. Kadar air dalam pori tanah meningkat maka volume tanah akan mengembang sedangkan bila kadar air tanah berkurang muka tanah akan menyusut (Machsus dkk. 2007). Ridwan (2017) juga menyebutkan kondisi yang sama juga terjadi di daerah Wiyung yang juga memiliki potensi pengembangan tanah yang tinggi. Adanya potensi pengembangan tanah ini tentunya dapat mempengaruhi konsistensi dari lingkungan sekitar, dalam hal ini adalah titik-titik pengamatan yang berada di wilayah Surabaya Barat.



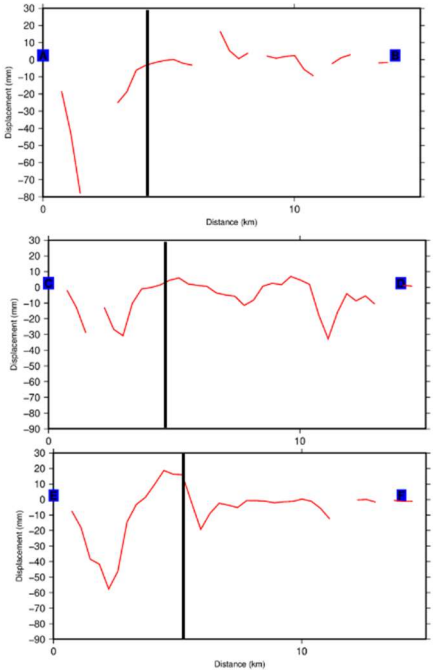
Gambar 4. 13 Peta *mean* LOS *velocity Superimposed* dengan Sesar Kendeng

Meninjau dari Peta hasil LOS *displacement superimposed* dengan posisi GPS (Gambar 4. 11), bahwa BM23, BM08, BM24, BM33 berlokasi di sekitar *antiklin* lidah dan *antiklin* guyangan. Keberadaan *antiklin* ini diketahui dari peta geologi lembar Surabaya-Sapulu oleh Sukardi (1992). *Antiklin* merupakan bagian yang naik dari struktur lipatan. Struktur lipatan ini terdiri dari antiklin sebagai bagian yang mengalami kenaikan dan sinklin sebagai bagian yang mengalami penurunan. Adanya struktur lipatan ini dapat mempengaruhi pergerakan dari titik-titik pengamatan yang berada di sekitar wilayah lipatan. Namun, keberadaan dan panjang antiklin dan sinklin yang ada belum dapat diketahui pasti.

Untuk mengetahui perbedaan pola deformasi antara Surabaya Utara dan Surabaya Barat, penelitian ini melakukan analisa berdasarkan penarikan *cross section* melewati garis sesar seperti pada Gambar 4.14. kemudian, untuk melihat pola pergerakannya, penelitian ini juga menganalisis masing-masing *cross section* dalam bentuk grafik (Gambar 4. 10).



Gambar 4. 14 Peta LOS *Displacement Superimposed* dengan Sesar Kendeng dan *Cross Section*



Gambar 4. 15 Profil Melintang dari 3 *Cross section* yang Melewati Sesar Kendeng. Garis merah menunjukkan pola deformasi vertikal, sedangkan garis hitam menunjukkan lintasan garis sesar.

Berdasarkan Gambar 4.9, tampak jelas adanya perubahan pola deformasi diantara dua wilayah (Surabaya Utara dan Surabaya Barat) yang dilewati oleh garis sesar Kendeng. Pola penurunan tanah terjadi pada rentang 0 sampai -80 mm/th, kemudian saat melewati sesar Kendeng terjadi kenaikan muka tanah mulai 0 sampai +20 mm/th. Ini mengindikasi bahwa sesar Kendeng dalam kondisi aktif, namun masih belum diketahui jenisnya, apakah *loked fault* atau *creeping fault*. Jika sesar Kendeng termasuk dalam *locked fault*, maka potensial gempa akan lebih besar dari pada estimasi yang diperhitungkan sebelumnya, sedangkan jika

creeping fault, maka sebaiknya menghindari pembangunan infrastruktur di sepanjang sesar (Yulyta 2018).

Jika ditinjau berdasarkan aktivitas tektonik yang terjadi di lokasi penelitian dengan cakupan wilayah lebih luas yaitu Jawa Tengah hingga Madura selama rentang tahun 2017-2019, terdapat beberapa kejadian gempa (PVMBG 2019). Beberapa diantaranya yaitu peristiwa gempa bumi yang terjadi di barat daya Kabupaten Blitar, barat daya Pacitan dan barat daya Malang. Kejadian ini berpusat di laut dengan magnitudo mencapai 5,4 SR. Adapun kejadian gempa yang berpusat di darat terjadi di daerah bagian timur Kabupaten Sumenep pada 13 Juni 2018 dengan kekuatan magnitudo 4,8 SR kedalaman 12 km. Peristiwa gempa bumi ini sebagai akibat dari aktivitas penunjaman Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia dan juga akibat dari aktivitas zona sesar yang berada di Pulau Madura. Dengan adanya kondisi tersebut, tentunya akan sedikit banyak juga berdampak terhadap sekitar wilayah Kota Surabaya.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya dapat diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain :

a. Penerapan metode PS-InSAR berhasil dilakukan menggunakan 33 citra Sentinel-1A. Metode PS-InSAR efektif digunakan untuk mengamati penurunan tanah di area perkotaan dengan kepadatan yang tinggi (*high spatial density*), namun kurang efektif jika diamati di lingkungan vegetasi yang dapat meningkatkan dekorelasi temporal.
b. Pada pengolahan metode PS-InSAR didapatkan hasil *mean LOS velocity* untuk Kota Surabaya pada tahun 2017-2019 sebesar -50 mm/tahun sampai dengan +20 mm/tahun. Sebagian besar penurunan muka tanah terjadi di area pemukiman dan kawasan industry di Kecamatan Asemrowo, Surabaya Utara, penurunan muka tanah tertinggi sebesar -50 mm/tahun. Sedangkan adanya perubahan pola deformasi di antara dua wilayah (Surabaya Utara dan Surabaya Barat) yang dilewati oleh garis Sesar Kendeng menunjukkan kenaikan muka tanah terbesar yaitu mencapai +20 mm/tahun, hal ini mengindikasi bahwa Sesar Kendeng dalam kondisi aktif. Berdasarkan analisa geologi, hasil kenaikan muka tanah ini terbukti dengan tipe Sesar Kendeng yaitu sesar naik atau *thrust fault*.
c. Dari hasil komparasi LOS GPS dengan data pengolahan SAR digunakan dalam validasi dari hasil PS-InSAR yang *reliable*, dimana berdasarkan hasil residual ke-16 titik GPS yang digunakan dalam komparasi menunjukkan nilai residu kurang dari 1. Hal ini membuktikan bahwa metode PS-InSAR cukup

baik dalam penggunaannya untuk memonitor deformasi secara berkala.

5.2 Saran

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

a. Untuk mencegah rendahnya nilai koherensi citra akibat dekorelasi temporal dan dekorelasi geometric, maka diperlukan data dalam jumlah yang banyak (> 25 citra) dengan jarak temporal dan *baseline* yang berdekatan. Untuk jarak temporal tidak lebih dari 6 bulan dan jarak *baseline* berkisar kurang dari sama dengan $\pm$ 150 m.
b. Disarankan menggunakan citra SAR yang lebih sensitif terhadap tanah seperti citra dengan spesifikasi *Band-L* dan resolusi spasial yang lebih tinggi. Sedangkan untuk mengatasi gangguan *atmospheric* dapat dikurangi dengan menambahkan data ekstrernal yang dapat mengurangi efek *troposfer delay*.
c. Disarankan untuk menggunakan data DEM dengan resolusi yang lebih baik untuk meningkatkan koreksi topografi Ketika melakukan pengurangan fase akibat topografi.
d. Diperlukan adanya studi lanjut untuk monitoring secara berkala, khususnya di kawasan industri pergudangan Asemrowo yang mengalami penurunan tanah terbesar dan daerah Surabaya Barat yang mengalami kenaikan terbesar akibat aktivitas Sesar Kendeng. Analisa geologi mendalam juga diperlukan untuk mengamati aktivitas Sesar Kendeng tersebut. Kemudian juga diperlukan estimasi dari *fault slip* untuk evaluasi potensi gempa bumi di Kota Surabaya.
e. Kombinasi menggunakan data *descending* untuk mendapatkan hasil *displacement* vertikal dengan proses *decomposition*.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, Hasanuddin Z. 2008. Peranan Geodesi Satelit dalam Memahami Dinamika Bumi di Wilayah Indonesia. Bandung: Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung.

Abidin, H.Z., Andreas, H., Djaja, R., Darmawa, D., Gamal, M., 2008. Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. GPS Solutions, 12(1):23-32.

Aditiya, A. Takeuchi, W. Aoki, Y. 2017. Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City, Indonesia. The Universitu of Tokyo. Tokyo.

Agustan. 2016. Reduksi Orbit Pada Insar Untuk Pengamatan Deformasi Gunung Merapi. Geoid 11 (2016): 205-210.

Anjasmara, Ira Mutiara. 2013. Deformation Study. Surabaya: Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Anjasmara, I. M., Taufik, M., Cahyadi, M. N., Khomsin, dan Handoko, E. Y. 2018. Surface Deformation Monitoring in Surabaya by Using GNSS Survey Campaigns and Time-Series InSAR Analysis. In International Symposium On GNSS 2018. Bali, Indonesia.

Anjasmara, I., M., 2019. Surface deformation and earthquake potential in Surabaya from GPS campaigns data. IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci. 389 012032. Surabaya, Indonesia.

Badan Pusat Statistik. 2018. Jumlah Penduduk Kota Surabaya. (https://surabayakota.bps.go.id/dynamictable/2018/04/18/23/proyeksi-penduduk-kota surabaya-menurut-jenis-kelamin-dan-kelompok-umur-tahun-2019.html). Diakses pada tanggal 17 Oktober 2019, pukul 15.55.

Beladam, O., Balz, T., Mohamadi, B., & Abdalhak, M. 2019. Using ps-insar with sentinel-1 images for deformation monitoring in northeast Algeria. Geosciences (Switzerland), 9(7). https://doi.org/10.3390/geosciences9070315.

Bouraoui, Seyfallah. 2013. Time series analysis of SAR images using persistent scatterer (PS), small baseline (SB) and merged approaches in regions with small surface deformation. Doctor Thesis, Université de Strasbourg, Strasbourg: HAL.

Casu, Francesco. 2009. The Small Baseline Subset Technique: Performance Assesment and New Developments for Surface Deformation Analysis of Very Extended Areas. PhD Thesis, Departement of Electrical Electronic Engineering, University of Cagliari, Cagliari.

Chen, Q., G. Liu, X. Ding, J.-C. Hu, L. Yuan, P. Zhong, and M. Omura, 2010. Tight integration of GPS observations and persistent scatterer InSAR for detecting vertical ground motion in Hong Kong. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12(6):477-486.

Endarto. 2005. Pengantar Geologi Dasar. Lembaga Pengembangan Pendidikan dan UPT Penerbitan dan Pencetakan UNS. Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.

ESA. 2013. Introduction to a SAR System. European Space Agency. https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Onboard_Data_Processing/Introduction_to_a_SAR_System. Diakses pada tanggal 20 Desember 2019, pukul 13.00.

Farina, P., Colombo, D., Fumagalli, A., Marks, F., and Moretti, S., 2006. Permanent scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. Engineering Geology. 88(3-4):200-217.

Fárová, K., Jelének, J., Kopačková-Strnadová, V., & Kycl, P. 2019. Comparing DInSAR and PSI techniques employed to Sentinel-1 data to monitor highway stability: A case study of a massive Dobkovičky landslide, Czech Republic. *Remote Sensing*, *11*(22), 1–23. https://doi.org/10.3390/rs11222670.

Ferretti, A., C. Prati, and F. Rocca. 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remtoe Sensing. 39 (1):8-20.

Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., & Rocca, F. (2007a). InSAR Principles : Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation (Karen Fletcher, Ed.). Frascati, italy: ESA Publications ESTEC.

Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., & Rocca, F. (2007b). Part B InSAR processing: a practical approach (Karen Fletcher, Ed.). Frascati, italy: ESA Publications ESTEC.

Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., & Rocca, F. (2007c). Part C InSAR p rocessing: a mathematical a pproach (Karen Fletcher, Ed.). Frascati, italy: ESA Publications ESTEC.

Ghilani, C. D., Wolf, P. R. 2006. Ajustment Computations: Spatial Data Analysis. Wiley-Interscience.

Gonmuru, P., dan Kumar, S.. 2018. PsInSAR based land subsidence estimation of Burgan oil field using TerraSAR-X data, Remote Sensing Applications Society and Environment 9 (2018) 17–25.

Goldstein, R. M., & Werner, C. L. 1998. Radar Interferogram Filtering for Geophysical Application. Geophysical Research Letters, 25, 4035–4038. https://doi.org/10.1029/1998GL900033.

Hanssen, R. F. 2001. Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis. Springer Netherlands

Harris, A. J. L., Groeve, T. d., Garel, F. & Carn, S. A. 2016. Detecting, Modelling, and Responding to Effusive Eruptions. Bath, United Kiingdom: Geological Society.

Hooper, A. J. 2006. Persistent scatter radar interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation. PhD Thesis. Department of Geophysics, Stanford University, USA, 124 pp.

Iodice, A., Elettronica, I., dan Federico, N. 2009. A Survey of Differential SAR Interferometry for Surface Displacement Monitoring. October, 2009: 212-214.

JAXA. 2019. ALOS-2 Poject / PALSAR-2. Japan Aerospace and Exploration Agency. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm. Diakses pada tanggal 21 Desember 2019, pada pukul 19.20.

Jiang, L., and H. Lin, 2010. Integrated analysis of SAR interferometric and geological data for investigating long-

term reclamation settlement of Chek Lap Kok Airport, Hong Kong. Engineering Geology, 110:(3-4):77-92.

Marliyani, G. I. 2016. Neotectonics of Java, Indonesia: Crustal Deformation in the Overriding Plate of an Orthogonal Subduction System. Tempe: Arizona State University.

Osmanoglu, B., T.H. Dixon, S. Wdowinski, E. Cabral-Cano, and Y. Jiang, 2011. Mexico City subsidence observed with persistent scatterer InSAR. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(1):1-12.

Periz, D. 2009. SARPROZ. Retrieved January 17, 2020, from sarproz.com website: https://sarproz.com/publish/SARPROZ.pdf

Qin, Y. (2018). Demo : APS Estimation & Multi- temporal analysis with Sarproz. Sarproz processing tutorial series. Tutorial and Exercises, 75.

Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Surabaya. 2016. https://surabaya.go.id/uploads/attachments/2016/11/16408/bab_2.pdf. Diakses pada tanggal 6 Januari 2020, pada pukul 19.15.

Resmi, ALC. 2016. Analisis Land Subsidence Menggunakan Teknik Differential Interferometry Syntetic Aperture Radar (Dinsar) (Studi Kasus: Kota Surabaya, 2009-2011). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sadegi, Z., Zoej M. J., Muller, J. P. 2017. Combination of Persistent Scatterer Interferometry and Single-Baseline Polarimetric Coherence Optimisation to Estimate

Deformation Rates with Application to Tehran Basin. Cross Mark Article. DOI:10.1007.

Sari, A. R., Handayani, H. H., Agustan. 2014. Penerapan Metode DInSAR Untuk Analisa Deformasi Akibat Gempa Bumi Dengan Validasi Data GPS Sugar (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat). Geoid Vol. 10, No. 01, 2014: 26-31.

Sendy , A., Y., Anjasmara, I., M., Cahyadi, M., N., Khomsin, Taufik, M., Jeelani, L., M. 2018. Land Subsidence Analysis in Surabaya Urban Aarea Using Time Series InSAR Method. Surabaya: Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Setiawan, M. R., Setiawan, A. 2015. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Zona Subduksi dan Busur Gunungapi Jawa Timur berdasarkan Analisis Data Gravitasi. Vol. 19 (2015) No. 57.

Sukardi. 1992. Peta Geologi Surabaya dan Sapulu (16308 and 1609-1), Skala 1:100.000, Bandung: Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Peneliti dan Pengembangan Geologi.

Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Tjia, H., D. 1976. Sesar mendatar “Mina” di Timor. *Newsletter Geol. Surv. Indonesia, 8 (32), 14-16.*

Terakusuma, Angga. 2017. Evakuasi Tingkat Erosi Pada Kawasan Budidaya Pertanian Pangan di Kecamatan Pair Jambu

Kabupaten Bandung. Bandung: Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Pasundan.

Tobita, M. (1998). Deformation of the 1995 North Sakhalin Earthquake Detected by JERS-1/SAR Interferometry. Earth Planets Place, 50, 313-325.

USGS. 1999. Illustration of the Main Types of Plate Boundaries. Retrieved December 24, 2019, from https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/Vigil.html. Diakses pada tanggal 24 Desember 2019 pukul 12.15.

Vidyan, Y. 2013. Pemanfaatan metode TLS(Terrestrial Laser Scanning) untuk pemantauan deformasi gunung api, studi kasus: Kerucut Sinder Gunung Galanggung Jawa Barat. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, 2013: Vol. 4 No. 1 April 2013: 49-69.

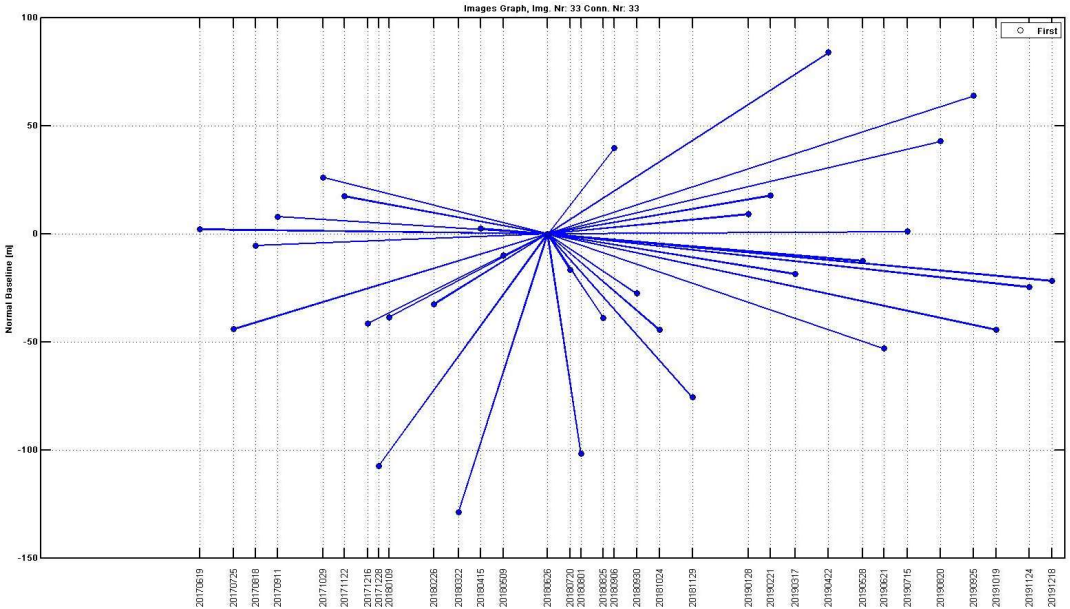
Waugh, David. 2014. Geography an Integrated Approach, Fourth Edition. Oxford: Oxford University Press.

Wegener, Alfred. 1925. The Origin of Continents and Oceans. London: Methuen and Co.

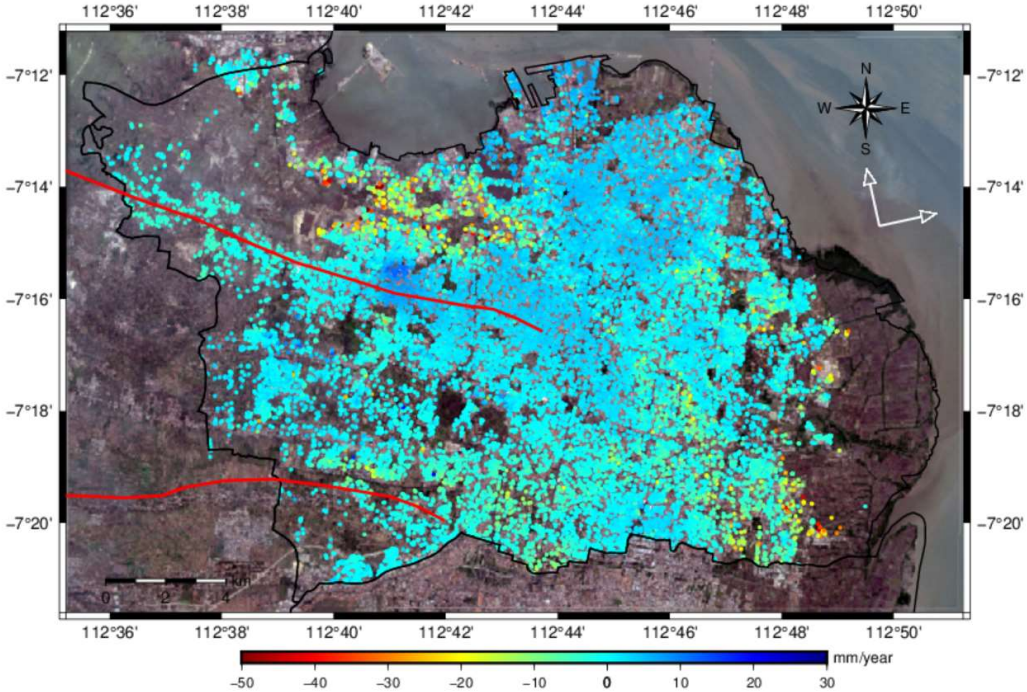
Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. 2019. The Generic Mapping Tools version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 5556–5564.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

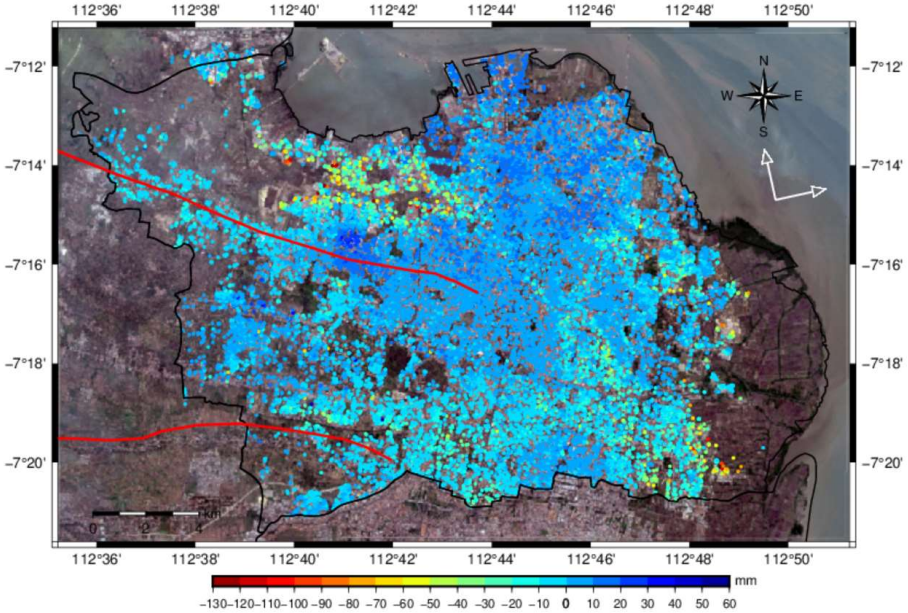
LAMPIRAN



Lampiran 1. Normal Baseline

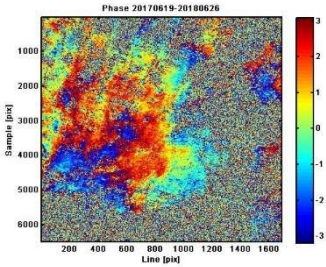


Lampiran 2. Peta Persebaran Titik PS Berdasarkan Nilai *Mean LOS Velocity*

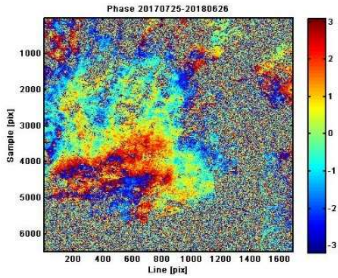


Lampiran 3. Peta Persebaran Titik PS Berdasarkan Nilai *LOS Displacement*

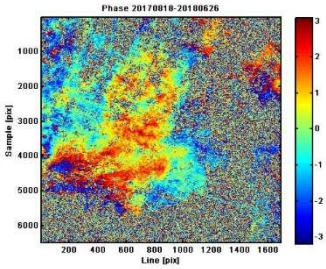
a. Hasil Interferogram Setiap Pasangan Citra yang Digunakan



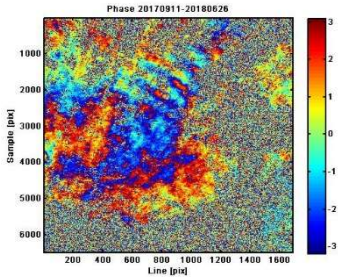
Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 19 Juni 2017



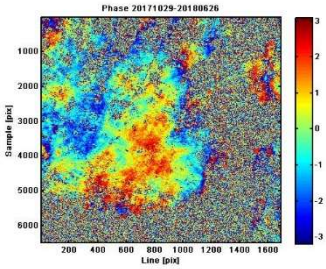
Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 25 Juli 2017



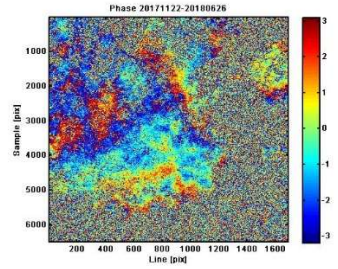
Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 8 Agustus 2017



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 11 September 2017

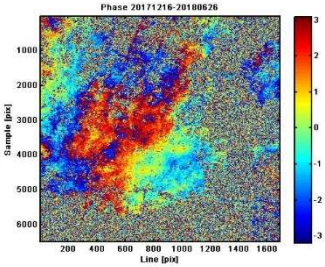


Interferogram Pasangan citra

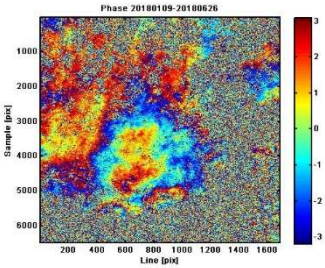


Interferogram Pasangan citra

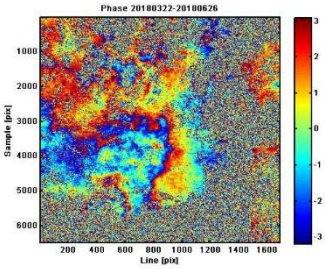
tanggal 26 Juni 2018 dan 29 Oktober 2017



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 16 Desember 2017

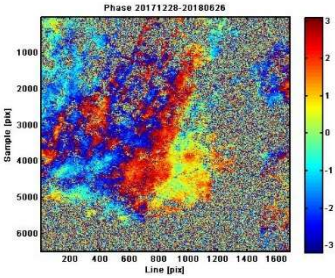


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 19 Januari 2018

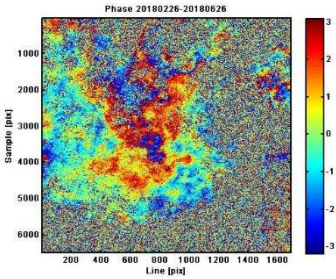


Interferogram Pasangan citra

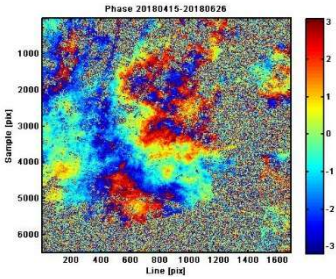
tanggal 26 Juni 2018 dan 22 Nopember 2017



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 28 Desember 2017

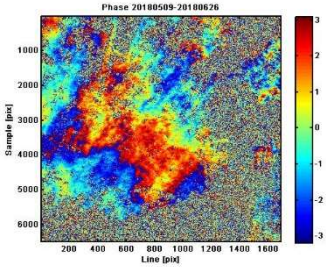


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 26 Februari 2018

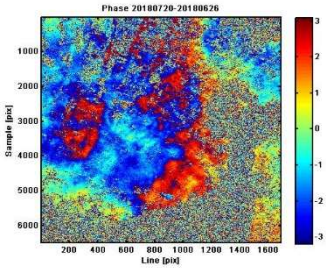


Interferogram Pasangan citra

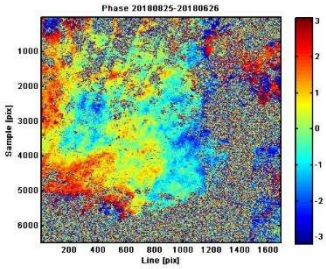
tanggal 26 Juni 2018 dan 22 Maret 2018



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 9 Mei 2018

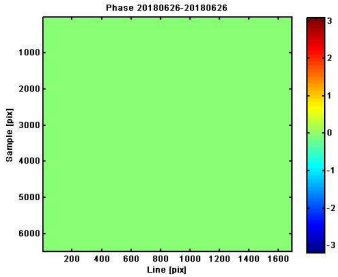


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 20 Juli 2018

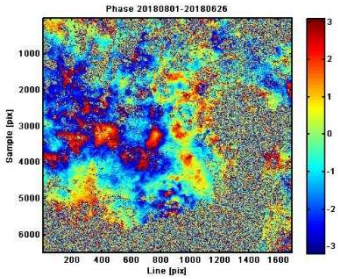


Interferogram Pasangan citra

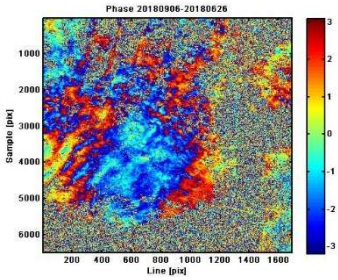
tanggal 26 Juni 2018 dan 15 April 2018



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 26 Juni 2018

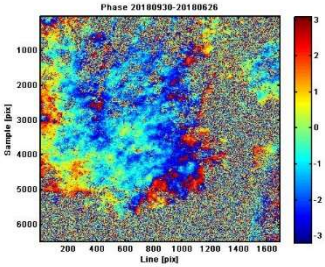


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 1 Agustus 2018

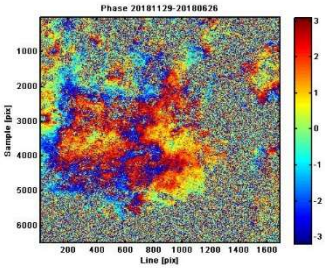


Interferogram Pasangan citra

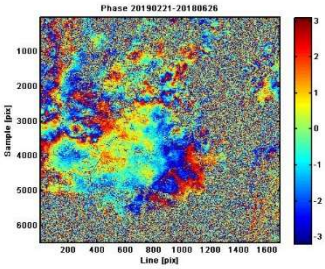
tanggal 26 Juni 2018 dan 25 Agustus 2018



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 30 September 2018

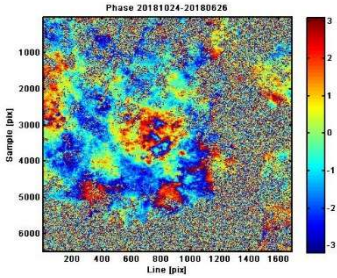


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 129 Nopember 2018

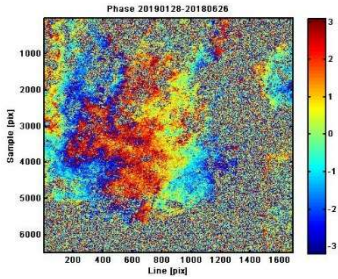


Interferogram Pasangan citra

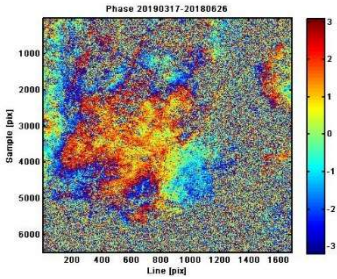
tanggal 26 Juni 2018 dan 6 September 2018



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 24 Oktober 2018

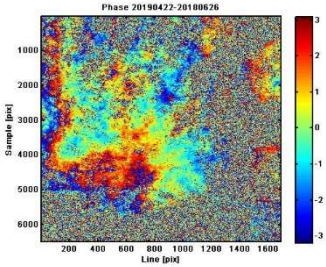


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 28 Januari 2019

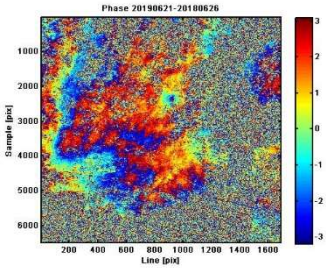


Interferogram Pasangan citra

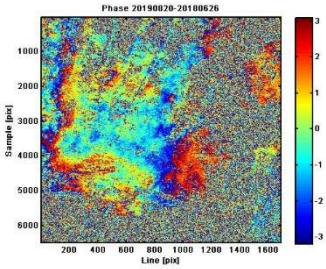
tanggal 26 Juni 2018 dan 21 Februari 2019



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 22 April 2019

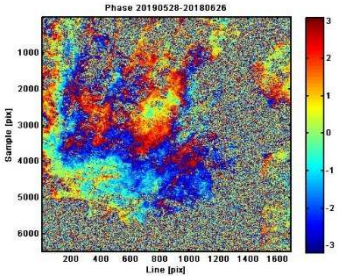


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 21 Juni 2019

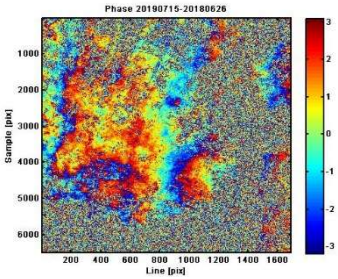


Interferogram Pasangan citra

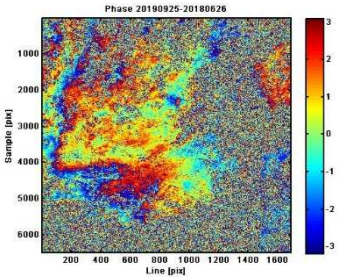
tanggal 26 Juni 2018 dan 17 Maret 2019



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 28 Mei 2019

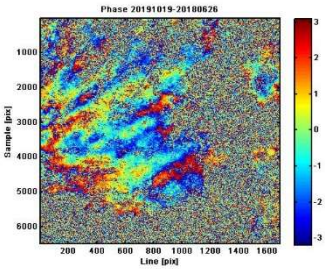


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 15 Juli 2019

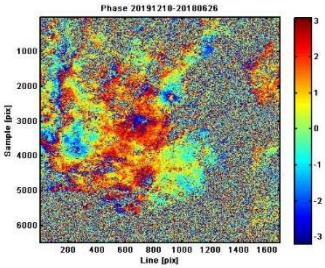


Interferogram Pasangan citra

tanggal 26 Juni 2018 dan 20 Agustus 2019

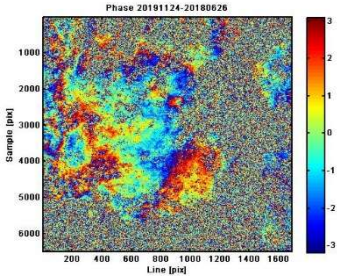


Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 19 Oktober 2019



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 18 Desember 2019

tanggal 26 Juni 2018 dan 25 September 2019



Interferogram Pasangan citra tanggal 26 Juni 2018 dan 24 Nopember 2019

Lampiran 4. *Interferogram* Pasangan citra

Nilai *displacement* GPS (dz, dy, dz)

Stasiun GPS	dx (mm)	dy (mm)	dz (mm)
BM02	14,290	-9,950	2,880
BM08	19,120	-16,230	25,710
BM24	37,720	-15,450	-5,030
BM29	-37,660	10,550	-22,120
BM33	23,180	21,560	-7,160
BSBY	38,510	2,050	0,020
KJRN	18,750	-16,200	-21,840
RNKT	7,020	-10,790	-5,950
SB15	10,440	-8,030	10,930
SBY3	7,480	-14,110	-4,560
SBY7	18,660	-7,230	9,630
WARU	17,250	-12,250	-8,420
WONO	14,230	-11,900	-10,500
BITS	12,570	-7,540	-28,160
BM23	9,120	-6,630	35,430
BM16	24,200	-12,450	-8,220

Lampiran 5. Data Nilai *Displacement* GPS

Script Matlab Perhitungan Konversi LOS GPS

```
i=33.701;
h=-12.4243;
a=(-sind(i)*sind(h-270));
b=(-sind(i)*cosd(h-270));
c=cosd(i);
dx=
dy=
dz=
LOSa=(a*dx)+(b*dy)+(c*dz)
```

Lampiran 6. Sript Matlab Perhitungan Konversi LOS GPS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS

Toifatul Ulma. Penulis dilahirkan di Kediri, 4 Maret 1998, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al Irsyad Al Islamiyah, SD Islam Al Huda (2004 – 2010), SMP Negeri 1 Kediri (2010 – 2013), kemudian di SMA Negeri 2 Kediri dan lulus pada tahun 2016. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan untuk perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil Jurusan Teknik Geomatika melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa S1, penulis cukup aktif di organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE-ITS) sebagai staff Departemen Hubungan Luar 2017/2018. Selain itu penulis juga mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD, Pelatihan LKTI, serta aktif dalam kepanitiaan di tingkat jurusan, fakultas, dan institut. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geodinamika Deformasi dan Lingkungan, dengan judul "Analisis Deformasi Kota Surabaya Tahun 2017-2019 Akibat Aktivitas Sesar Kendeng Dengan Metode *Permanent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) Dan Validasi Data GPS".