



Tesis RG142509

Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1A Untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah Di Kota Surabaya

SENDY AYU YULYTA
NRP 03311650010002

DOSEN PEMBIMBING
Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D
Dr. Ir. Muhammad Taufik

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



Tesis RG142509

Application Of SBAS-DInSAR Method Using Sentinel-1A Data For The Land Subsidence Detection In Surabaya City

SENDY AYU YULYTA
NRP 03311650010002

SUPERVISOR
Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D
Dr. Ir. Muhammad Taufik

MASTER PROGRAM
GEOMATICS FIELD
GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT, AND EARTH
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

**APLIKASI METODE SBAS-DINSAR MENGGUNAKAN DATA
SENTINEL-1A UNTUK PENGAMATAN PENURUNAN MUKA TANAH
DI KOTA SURABAYA**

Nama Mahasiswa : Sendy Ayu Yulyta
NRP : 03311650010002
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil. Ph.D
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRAK

Penelitian ini mempelajari tentang fenomena penurunan tanah di Kota Surabaya. Kota Surabaya merupakan kota yang mengalami pertumbuhan pesat yang dibuktikan dengan meningkatnya jumlah bangunan (terutama perumahan dan gedung-gedung tinggi) yang telah terealisasi sebelum 2015, kondisi ini diikuti dengan meningkatkan kebutuhan air di kota ini. Penurunan tanah atau deformasi vertikal adalah perubahan permukaan tanah akibat efek dari longsor, gempa bumi, proses konsolidasi tanah, atau bahkan akibat aktifitas buatan manusia. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa penurunan muka tanah di Kota Surabaya dengan menggunakan teknik *Time-series Interferometric Synthetic Aperture Radar* dengan metode *Small Baseline Subset*. Secara khusus, teknik ini diaplikasikan untuk mendapatkan nilai kecepatan penurunan tanah berupa *mean line of sight velocity* dan *displacement time-series* di Kota Surabaya antara bulan Mei 2015 dan September 2017. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah 28 data Sentinel-1A *IW mode* yang diperoleh menggunakan operasi TOPS dengan resolusi spasial 5 x 20 m dan mencakup area seluas 250 km². Dari hasil pengolahan data didapatkan nilai kecepatan deformasi vertikal antara bulan Mei 2015 dan September 2017 sebesar -40 mm/th sampai +30 mm/th. Penurunan tanah sebagian besar terjadi di bagian Utara (Asemrowo dan Morokrembangan) dan Timur (Kenjeran, Sukolilo, dan Gunung Anyar Tambak), sedangkan di bagian Barat sebagian besar mengalami kenaikan muka tanah. Dari hasil analisis menggunakan data penggunaan air tanah dan peta geologi, dapat disimpulkan bahwa pengambilan air tanah, perubahan fungsi lahan menjadi area permukiman, dan kondisi geologi Kota Surabaya yang didominasi oleh daratan aluvial

merupakan penyebab pergerakan tanah di Kota Surabaya. Selain itu, adanya sesar Kendeng yang melewati Kota Surabaya juga dapat menjadi penyebab terjadinya deformasi vertikal berupa kenaikan muka tanah di area Surabaya Barat.

Kata kunci: penurunan tanah, SBAS, Sentinel-1A, *mean LoS velocity and displacement time-series*

APPLICATION OF SBAS-DINSAR METHOD USING SENTINEL-1A DATA FOR THE LAND SUBSIDENCE DETECTION IN SURABAYA CITY

By : Sendy Ayu Yulyta
Student Identity Number : 03311650010002
Supervisor : Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil. Ph.D
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRACT

This research studied the land subsidence phenomenon in Surabaya City. Surabaya is a large city with a rapidly urban area growth that indicated by the increasing number of building (especially for settlements and high rise buildings) that have been realized before 2015. This condition is also followed by the increasing need of water. Deformation is the land surface changed that can be occurred due to the effect of landslide, earthquake, soil consolidation process, or even manmade activities, depending on the material characteristics of the area. In this study, Time-series Interferometric Synthetic Aperture Radar, especially Small Baseline Subset method is applied to generate the mean line of sight velocity and *displacement time-series* in Surabaya City between May 2015 and September 2017. 28 Sentinel-1A IW mode data, that were acquired by using TOPS operation with the 5 x 20 m of spatial resolution and cover 250 km² of area were used in the SBAS processing. Through the SBAS method, interferogram pairs selection is based on the perpendicular baseline is lower than 150 m and temporal baseline is lower than 100 days. The result showed that the velocity value of deformation between May 2015 and September 2017 is between -40 mm/yr and +30 mm/yr. The subsidence were mostly occurred in North (Asemrowo and Morokrembangan) and East (Kenjeran, Sukolilo, and Gunung Anyar Tambak) part of Surabaya, whereas the West part is mostly uplift. From analysis using groundwater usage and geology data, it can be concluded that excessive groundwater extraction and the geological condition of Surabaya that dominated by alluvium plain were the major cause of the subsidence. Moreover, the

existence of Kendeng fault in Surabaya also cause the uplift that occurred in the West part of the city.

Key words: land subsidence, SBAS, Sentinel-1A, mean LoS velocity and displacement time-series


LEMBAR PENGESAHAN


Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:
SENDY AYU YULYTA
Nrp. 03311650010002

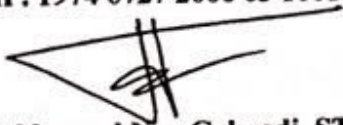
Tanggal Ujian : 19 Juli 2018
Periode Wisuda :

Disetujui Oleh:


1. **Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil. Ph.D** (Pembimbing I)
NIP. 1978 1231 2002 12 2001



2. **Dr. Ir. Muhammad Taufik** (Pembimbing II)
NIP. 1955 0919 1986 03 1001


3. **Eko Yuli Handoko, ST., MT., Ph.D** (Penguji I)
NIP. 1974 0727 2000 03 1001


4. **Mokhamad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D** (Penguji II)
NIP. 1981 1223 2005 01 1002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Warmadewanthi ST., MT., Ph.D
NIP. 1975 0212 1999 03 2001

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala kekuatan, kesabaran, dan kesehatan yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul **“Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1A Untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah Di Kota Surabaya”** yang telah dilakukan penulis selama masa perkuliahan dan syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Studi Pascasarjana Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tesis ini hingga selesai dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu, terima kasih atas segala doa, dukungan, perhatian, restu, dan semangat yang sudah diberikan selama ini sehingga penulis yakin dapat menyelesaikan pendidikan Pascasarjana selama 2 tahun.
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS dan dosen penguji yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan jenjang S2 dan memberikan banyak wawasan baru.
3. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, S.T., M.Phil., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama penulis dari Jurusan Teknik Geomatika ITS yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan jenjang S2 dan telah memberikan banyak wawasan baru.
4. Bapak Dr. Ir. M. Taufik, selaku dosen pembimbing kedua penulis dari Jurusan Teknik Geomatika ITS yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan jenjang S2 dan memberikan banyak wawasan baru.
5. Bapak Eko Yuli Handoko, S.T., M.T., Ph.D, selaku dosen penguji dari Jurusan Teknik Geomatika ITS yang telah membantu menyempurnakan buku laporan ini dan memberikan banyak wawasan baru.
6. Ibu Noorlaila Hayati, ST. MT selaku dosen dari Jurusan Teknik Geomatika ITS yang selama telah membantu menjelaskan metode-metode yang digunakan penulis selama pengolahan dilakukan.

7. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Geomatika ITS yang turut membantu dalam memudahkan dan melancarkan segala aktifitas di kampus perjuangan ini.
8. Kakak dan adek tercinta, terimakasih atas doa, dorongan dan dukungan yang telah diberikan selama ini sehingga penulis yakin dapat menyelesaikan pendidikan Pascasarjana selama 2 tahun.
9. Letda Laut (KH) Rashita Megah Putra Mahardhika yang selalu memberikan perhatian, dorongan, doa dan motivasi demi kelancaran penulis selama menempuh pendidikan S2.
10. Teman-teman seperjuangan Pascasarjana Teknik Geomatika angkatan 2016 dan 2017 yang telah menemani dan memberikan motivasi.
11. Teman-teman seperjuangan S1 Teknik Geomatika angkatan 2011 (G13) yang telah memberikan semangat.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tesis ini masih terdapat kekurangan, oleh karenanya penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya jika terdapat kesalahn. Akhirnya, penulis berharap Tesis ini dapat dibaca oleh semua pihak agar selanjutnya muncul ide-ide atau penemuan baru untuk melanjutkan penelitian yang berhubungan dengan Tesis ini serta dapat memberikan wawasan baru dan manfaat yang besar bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penurunan Muka Tanah.....	5
2.2 Karakteristik Daerah Kajian	6
2.3 <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR).....	8
2.4 <i>Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar</i> (DInSAR).....	10
2.5 <i>Time Series InSAR</i> (TS-InSAR)	14
2.5.1 <i>Permanent Scatterer InSAR</i> (PSInSAR)	17
2.5.2 <i>Small Baseline Subset</i> (SBAS)	19
2.6 Koherensi.....	25
2.7 <i>Phase Unwrapping</i>	25
2.8 Sentinel-1.....	27
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Lokasi Penelitian	31
3.2 Data dan Peralatan.....	32
3.3 Tahap Pengolahan SBAS Secara Umum.....	33
3.4 Tahap Pengolahan SBAS Menggunakan GMTSAR.....	37
BAB 4 HASIL DAN ANALISA	45
4.1 Hasil Pengolahan DInSAR Konvensional.....	45

4.1.1	<i>Baseline Plot</i> dan Konfigurasi Pemasangan Citra	46
4.1.2	<i>Amplitude and Interferogram Phase</i>	52
4.1.3	<i>Phase Filtered</i>	53
4.1.4	<i>Topography Removing</i> dan <i>Phase Unwrapping</i>	53
4.1.5	<i>LoS Displacement</i>	54
4.1.6	Nilai Koherensi	55
4.2	Analisa Hasil Pengolahan TS-InSAR (SBAS).....	58
4.2.1	<i>Displacement Time-Series</i>	58
4.2.2	Rata-rata Kecepatan Deformasi (<i>Mean LoS Velocity</i>).....	70
4.2.3	<i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	71
4.3	Analisa Penurunan Tanah Hasil Metode SBAS.....	71
4.3.1	Titik-titik yang Mengalami Penurunan Tanah.....	72
4.3.2	Penurunan Tanah Hubungannya dengan Kawasan Permukiman ..	73
4.3.3	Penurunan Tanah Hubungannya dengan Kawasan Industri dan Pergudangan.....	83
4.3.4	Deformasi Hubungannya dengan Kondisi Geologi dan Sesar Kendeng	88
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN		107
BIOGRAFI PENULIS.....		127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Distribusi Sumur Air Tanah di Kota Surabaya	7
Gambar 2. 2 Peta Geologi Kota Surabaya Skala 1:100.000	8
Gambar 2. 3 Geometri Pencitraan SAR	10
Gambar 2. 4 Geometri SAR Interferometri.....	11
Gambar 2. 5 Geometri Pencitraan Satelit Radar pada Arah <i>Ascending</i> dan <i>Descending</i> Hubungannya dengan <i>LoS Displacement</i>	14
Gambar 2. 6 Representasi Distribusi Time-Series Interferogram.....	16
Gambar 2. 7 <i>Continuous Phase</i> $[-\pi, \pi]$ dan <i>Wrapped Phase</i> (2π Jumps)	26
Gambar 2. 8 <i>Wrapped Phase</i> , Proses <i>Phase unwrapping</i> , <i>Unwrapped Phase</i>	27
Gambar 2. 9 Sentinel-1A Product Mode.....	28
Gambar 2. 10 Ilustrasi Pencitraan Sentinel-1 TOPS	29
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	31
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan SBAS Secara Umum.....	36
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan SBAS dengan GMTSAR.....	43
Gambar 4. 1 <i>Baseline Plot</i> . Titik merah merupakan citra master, sedangkan titik hitam merupakan <i>slave</i>	46
Gambar 4. 2 Sebaran Posisi <i>Center Point</i> dari 28 Citra SAR.....	49
Gambar 4. 3 Amplitudo Pasangan Citra 20160519 dan 20160706.....	52
Gambar 4. 4 <i>Interferogram Phase</i> dan <i>Filtered Phase</i> Pasangan Citra 20160519 dan 20160706.....	53
Gambar 4. 5 <i>Unwrapped Phase</i> Pasangan Citra 20160519 dan 20160706	54
Gambar 4. 6 <i>LoS of Displacement</i> dalam <i>Range</i> dan <i>Azimuth</i> Pasangan Citra 20160519 dan 20160706.....	55
Gambar 4. 7 Kosongnya Piksel (<i>Low Coherence</i>).....	56
Gambar 4. 8 Koherensi Pasangan Citra 20160519 dan 20160706, Grafik Frekuensi Nilai Koherensi Sebelum dan Setelah <i>Cropping</i>	57
Gambar 4. 9 <i>Displacement Time-Series</i> antara Bulan Mei 2015 dan September 2017	59
Gambar 4. 10 <i>Displacement Time-series</i> dan Regresi Linier di titik Asemrowo .	60
Gambar 4. 11 <i>Displacement Time-series</i> dan Regresi Linier di titik Kenjeran	62
Gambar 4. 12 Kondisi lapangan di Titik Perumahan Pantai Mentari Kenjeran....	64
Gambar 4. 13 Peta Kecepatan Deformasi <i>Superimposed</i> dengan Sesar Kendeng dan Gunung Lumpur	65
Gambar 4. 14 <i>Displacement Time-series</i> dan Regresi Linier di titik Gunung Lumpur.....	65
Gambar 4. 15 Gunung Lumpur dan Kondisi Jalan Di Sekitarnya	66

Gambar 4. 16 <i>Displacement Time-series</i> dan Regresi Linier di titik Gunung Anyar	67
Gambar 4. 17 Kondisi Fungsi Lahan Tahun 2012 dan 2018 di Gunung Anyar Tambak.....	69
Gambar 4. 18 <i>Mean LoS Velocity</i> Kota Surabaya Bulan Mei 2015 sampai September 2017	70
Gambar 4. 19 Frekuensi Distribusi RMSE.....	71
Gambar 4. 20 Sebaran 8 Titik Penurunan tanah.....	72
Gambar 4. 21 Sebaran Potongan Melintang di Kawasan Permukiman.....	74
Gambar 4. 22 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Perum. Grand Pakuwon	75
Gambar 4. 23 Kondisi Lapangan di Titik Grand Pakuwon).....	75
Gambar 4. 24 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Surabaya Utara	76
Gambar 4. 25 Tingkat Penurunan Tanah di Pantai Mentari Berdasarkan Profil Melintang	76
Gambar 4. 26 Masterplan Perum. Pantai Mentari Kenjeran dan Dampak di Lapangan	77
Gambar 4. 27 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Kenjeran	78
Gambar 4. 28 Tingkat Penurunan Tanah di Pakuwon City Berdasarkan Potongan Melintang	78
Gambar 4. 29 Kondisi Lapangan di Titik Pakuwon City	79
Gambar 4. 30 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Perum. Pakuwon City	79
Gambar 4. 31 Titik Penurunan Tanah di SDR-1	80
Gambar 4. 32 Lokasi Titik Penurunan Tanah di SDR-1	81
Gambar 4. 33 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Gunung Anyar Berdasarkan Potongan Melintang	82
Gambar 4. 34 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Babatan-Wiyung Berdasarkan Potongan Melintang	82
Gambar 4. 35 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Babatan-Wiyung	83
Gambar 4. 36 Sebaran 2 Sampel Potongan Melintang di Kawasan Industri dan Pergudangan	84
Gambar 4. 37 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Asemrowo Berdasarkan Potongan Melintang	85
Gambar 4. 38 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Asemrowo	85
Gambar 4. 39 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan SIER Berdasarkan Potongan Melintang	86
Gambar 4. 40 Lokasi Titik Penurunan Tanah di SIER.....	86
Gambar 4. 41 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Surabaya Utara	87
Gambar 4. 42 Kondisi Jalan dan Trotoar di Titik SIER	87
Gambar 4. 43 Kondisi Ruas Jalan di Titik SIER.....	88
Gambar 4. 44 Peta Kecepatan Deformasi <i>Superimposed</i> dengan Jenis Geologi Kota Surabaya	89

Gambar 4. 45 Peta Kecepatan Deformasi <i>Superimposed</i> dengan Sesar Kendeng	90
Gambar 4. 46 Peta Kecepatan Deformasi <i>Superimposed</i> dengan Sesar Kendeng dan <i>Cross Section</i>	91
Gambar 4. 47 Profil Melintang dari 3 <i>Cross section</i> yang <i>Melewati Sesar Kendeng</i>	91

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Jenis Tanah Kota Surabaya	7
Tabel 2. 2 Panjang Gelombang dan Frekuensi Radar SAR	9
Tabel 2. 3 Resolusi Citra Sentinel-1A Level 1.0 (SLC)	28
Tabel 2. 4 Karakteristik <i>Interferometric Wide (IW) Mode</i>	29
Tabel 4. 1 Estimasi Besar <i>Perpendicular</i> dan <i>Temporal Baseline</i> mengacu pada Citra Master.....	48
Tabel 4. 2 Besar <i>Perpendicular</i> (m) dan <i>Temporal Baseline</i> (dalam jumlah hari) dari 74 Pasangan Citra.....	50
Tabel 4. 3 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data <i>Displacement Time-Series</i> di Titik Kenjeran.....	61
Tabel 4. 4 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data <i>Displacement Time-Series</i> di Titik Kenjeran.....	63
Tabel 4. 5 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data <i>Displacement Time-Series</i> di Titik Gunung Anyar	68
Tabel 4. 6 8 Titik Penurunan Tanah.....	73

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia dengan pertumbuhan kota yang cukup pesat, khususnya pada sektor pembangunan. Ini dibuktikan dengan banyaknya permintaan surat Ijin Mendirikan Bangunan (IMB) dimana pada tahun 2015 ±20.000 unit bangunan telah terealisasi (BPS Surabaya, 2017) dan pada tahun 2016 pembangunan apartemen meningkat sebesar 10.6% dibandingkan dengan tahun 2015 (Pitoko, 2016). Peningkatan pembangunan infrastruktur juga diikuti dengan meningkatnya kebutuhan air. Untuk memenuhi kebutuhan air tersebut seringkali dilakukan pengambilan air tanah. Kegiatan pengambilan air tanah secara berlebihan dan terus menerus dapat berdampak pada terjadinya penurunan muka tanah.

Berdasarkan kondisi geologinya, sebagian besar daratan Kota Surabaya didominasi oleh aluvial (tanah endapan), khususnya bagian Utara dan Timur Kota Surabaya (Anjasmara, et al., 2016). Sedangkan Surabaya bagian Barat terbentuk dari beberapa formasi yaitu, Lidah, Pucangan, dan Kalipucang. Dari hasil penelitian terbaru Pusat Gempa Nasional (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017), dapat dilihat bahwa Surabaya dilewati oleh dua sesar aktif yang merupakan perpanjangan dari sesar Kendeng (Peta Gempa Nasional 2017). Sesar ini terletak diantara daratan aluvium dan formasi Kalipucang dengan arah lintasan dari barat ke timur. Kondisi geologi tersebut menyebabkan Surabaya menjadi rawan terhadap pergerakan tanah.

Mengacu pada faktor-faktor yang telah disebutkan diatas, maka perlu dilakukan penelitian secara berkala untuk mengamati terjadinya pergerakan tanah terutama yang berdampak pada penurunan tanah. Penurunan muka tanah dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik secara *absolute* maupun relatif (Haqqi, et al., 2015), baik pada skala regional maupun lokal atau hanya pada sebagian kecil wilayah. Penurunan tanah menunjukkan perubahan

secara vertikal dengan tingkat yang berbeda-beda, tergantung pada faktor yang mempengaruhinya.

Saat ini, metode pengamatan penurunan tanah telah banyak dikembangkan, baik metode pengamatan langsung di lapangan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) dan sipat datar (*levelling*) maupun dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh radar. Pengamatan GPS dan *levelling* memberikan ketelitian data yang tinggi namun dalam pelaksanaannya terdapat keterbatasan yang berhubungan dengan sumber daya manusia, cuaca, lama waktu pengamatan, biaya pengeluaran, serta titik ukur yang sering hilang dan rusak. Untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan tersebut, saat ini *Synthetic Aperture Radar* (SAR) telah banyak dimanfaatkan untuk pengamatan deformasi. Walaupun ketelitian SAR belum bisa menyamai ketelitian pengamatan di lapangan namun cukup efektif untuk diterapkan pada cakupan area luas, menghemat waktu dan pengamatan dapat dilakukan secara *time-series*.

Dibandingkan dengan citra optis, citra SAR menggunakan gelombang *microwave* sehingga mampu melakukan perekaman siang dan malam (tidak tergantung matahari) dengan panjang gelombang 1-100 cm sehingga mampu mengatasi gangguan awan. Data SAR mempunyai kepekaan dan akurasi hingga sub-sentimeter, kini SAR telah banyak diterapkan dalam ruang lingkup *Geodesy* (Hilley, et al., 2004; Dixon, et al., 2006; Ferretti, et al., 2004; Bernardino, et al., 2002; Kampes, 2006; Hooper, et al., 2004; Ferretti, et al., 2007).

Untuk mengamati deformasi Kota Surabaya, penelitian ini memanfaatkan 28 data SAR (Sentinel-1A IW Mode) dengan arah orbit *ascending*, panjang gelombang 5.6 cm (*band C*), lebar *scene* 250 km², dan resolusi 5 x 20 m. Dalam penelitian ini, data Sentinel-1A dimanfaatkan untuk memperoleh besar kecepatan deformasi di Kota Surabaya antara bulan Mei 2015 sampai September 2017 yang diterapkan berdasarkan metode *Time Series Interferometric Synthetic Aperture Radar* (TS-InSAR), dengan teknik *Small Baseline Subset* (SBAS).

TS-InSAR mulai dikembangkan pada abad ke-19, metode ini menawarkan cara praktis untuk mengamati kecepatan deformasi permukaan yang dapat digunakan sebagai indikasi awal adanya pergerakan tanah di suatu wilayah. Selain itu, metode ini mampu mengatasi keterbatasan metode *Differential*

Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) yang meliputi dekorelasi temporal, dekorelasi geometri dan penundaan sinyal karena gangguan atmosfer (Hanssen, 2001).

Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan kemampuan metode TS-InSAR (SBAS) dalam mengamati rata-rata kecepatan penurunan tanah (*mean LoS velocity*) dan *displacement time-series* di Kota Surabaya dengan menggunakan data Sentinel-1A selama bulan Mei 2015 hingga Mei 2017. Lebih dari itu, penelitian ini juga melakukan analisa titik-titik yang secara signifikan mengalami penurunan tanah dimana dikaitkan dengan beberapa faktor seperti pengambilan air tanah, perubahan fungsi lahan, daratan alluvium dan sesar Kendeng yang kemungkinan besar merupakan salah satu penyebab adanya pergerakan tanah di Kota Surabaya.

1.2 Perumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Berapa besar *mean LoS velocity* dan *displacement time-series* di Kota Surabaya pada bulan Mei 2015 hingga Mei 2017 berdasarkan metode TS-InSAR (SBAS)?
- b. Dimana letak titik-titik yang secara signifikan mengalami penurunan tanah dan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhinya?
- c. Bagaimana kemampuan metode TS-InSAR (SBAS) dalam mengamati penurunan tanah khususnya di area perkotaan?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui besar *mean LoS velocity* dan *displacement time-series* di Kota Surabaya pada bulan Mei 2015 hingga Mei 2017 berdasarkan metode TS-InSAR (SBAS)
- b. Untuk mengetahui letak titik-titik yang secara signifikan mengalami penurunan tanah dan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhinya

- c. Untuk mengetahui kemampuan metode TS-InSAR (SBAS) dalam mengamati penurunan tanah khususnya di area perkotaan

Hasil dalam penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai informasi penting yang berkaitan dengan Kebencanaan dan Geodinamika di suatu perkotaan, baik akibat bencana maupun ulah manusia dan sebagai pertimbangan sebelum melaksanakan kegiatan konstruksi atau pembangunan di area yang beresiko tinggi mengalami amblesan tanah. Kebermanfaatan dan urgensi penelitian ini jelas untuk mengamati dugaan awal adanya resiko penurunan tanah di area-area tertentu dan mengestimasi besar kecepatan deformasi tanah di Kota Surabaya kaitannya dengan keberadaan sesar Kendeng dan pertumbuhan populasi Kota Surabaya yang diikuti dengan pembangunan gedung-gedung bertingkat, permukiman, peningkatan aktifitas di kawasan industri dan pergudangan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah atau *land subsidence* adalah turunnya permukaan tanah akibat terjadinya perubahan volume pada lapisan-lapisan batuan di bawahnya (Sophian, 2010). Penurunan tanah dapat terjadi baik secara lokal maupun regional. Kondisi tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor penyebab, antara lain sebagai berikut (Reddish & Whittaker, 1989):

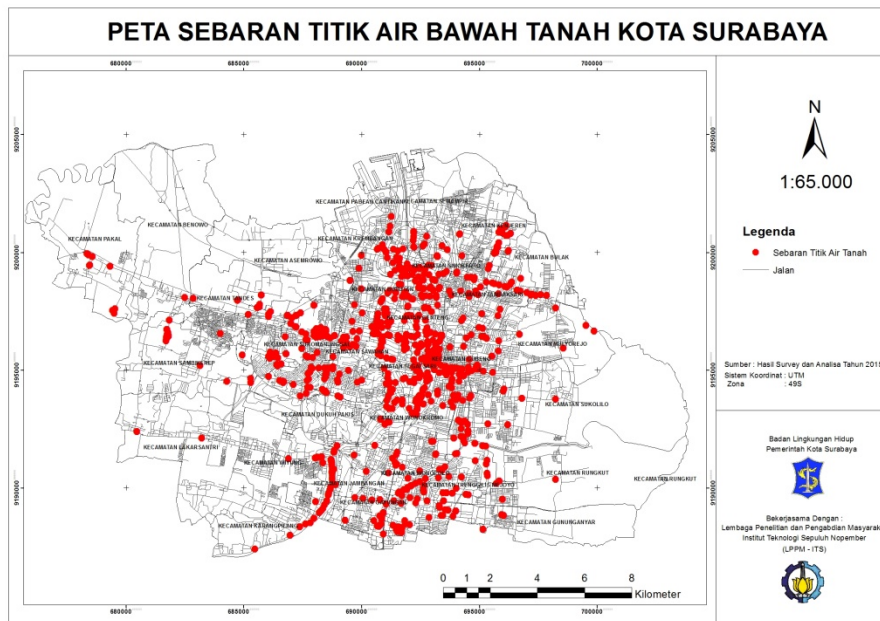
1. Penurunan muka tanah alami (natural subsidence) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air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

Penurunan muka tanah yang sering terjadi di kota-kota besar diakibatkan karena meningkatnya kebutuhan air di area perkotaan dan aktifitas pemompaan air melalui akuifer (Dang, et al., 2014). Penggunaan air tanah secara berlebih banyak dilakukan pada zona-zona yang berpotensi akuifer, semakin banyak ditemukan zona potensi akuifer, maka semakin banyak sumur-sumur penampung di sekitar area tersebut, sehingga rentan mengalami penurunan tanah (Mochammad & Saepuloh, 2017). Zhou, et al., (2017) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa setelah musim penghujan (kemarau), *subsidence* meningkat, ini diikuti dengan meningkatnya suhu dan aktivitas pengambilan air tanah. Sedangkan ketika musim penghujan, *subsidence* terlihat mengecil. Dapat disimpulkan bahwa nilai *subsidence* non linier menurun terhadap variasi musim.

Kondisi geologi juga menjadi salah satu faktor terjadinya deformasi atau penurunan tanah seperti yang terjadi di beberapa daerah yang tanahnya mengandung pasir (*sand*), pasir bercampur tanah liat (*sand clay*), tanah liat (*loamy sand*) dan lempung (*clay loam*). Daerah yang didominasi oleh aluvial yang belum terkonsolidasi juga rentan mengalami penurunan tanah jika ada pembebanan di atasnya, pembebanan ini akan menekan formasi sedimen (Dang, et al., 2014).

2.2 Karakteristik Daerah Kajian

Secara geografis, Surabaya terletak pada 07°09'00" - 07°21'00" LS dan 112°36'0" - 112°54'0" BT dan secara administratif terdiri dari 31 kecamatan dan 163 kelurahan dengan luas area 326,36 km² (BPS Surabaya, 2016). Total ±2,8 juta jiwa tinggal di kota yang merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Surabaya telah mengalami banyak perubahan khususnya dalam sektor pembangunan, hal ini dibuktikan dengan banyaknya permintaan surat Ijin Mendirikan Bangunan (IMB), dimana pada tahun 2015 terhitung ±20.000 unit bangunan telah terealisasi (BPS Surabaya, 2017), sedangkan pada tahun 2016 terjadi peningkatan pembangunan apartemen sebesar 10,6% dibanding dengan tahun 2015 (Pitoko, 2016). Daerah Surabaya Timur yang dahulu berupa lahan tambak, saat ini berubah menjadi kawasan permukiman, sedangkan di pusat kota berdiri bangunan-bangunan tinggi sebagai pusat bisnis dan perdagangan. Pembangunan ini secara langsung akan memberikan beban fisik terhadap permukaan bumi (Yulaikhah, 2010). Selain itu, pertumbuhan kota yang meliputi pembangunan infrastruktur berdampak pada meningkatnya kebutuhan air. Untuk memenuhi kebutuhan air seringkali dilakukan pengambilan air tanah, namun jika ini dilakukan secara besar-besaran maka akan memicu terjadinya penurunan tanah. Gambar 2.1 Menunjukkan peta distribusi sumur air tanah di Kota Surabaya yang ditunjukkan dengan warna hijau.



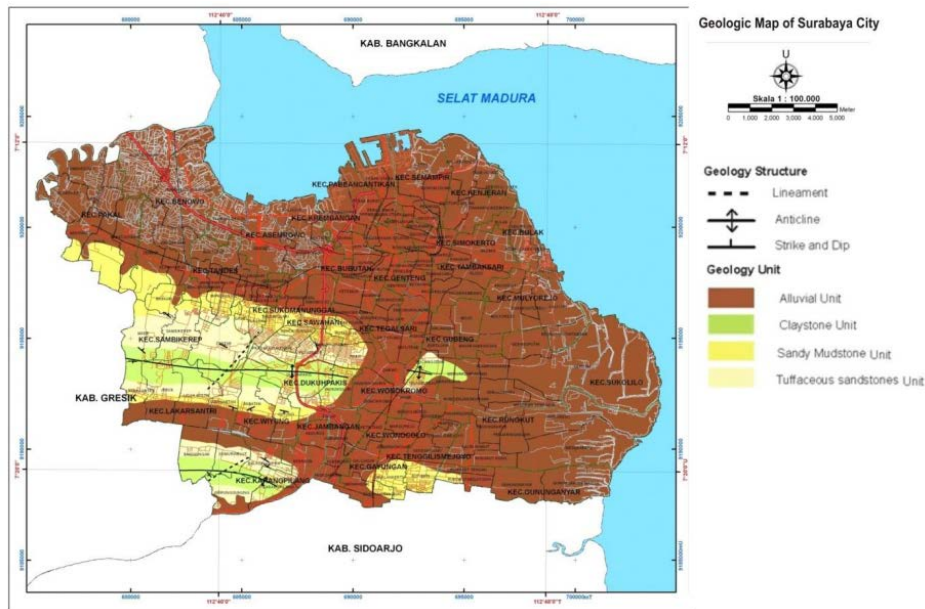
Gambar 2. 1 Peta Distribusi Sumur Air Tanah di Kota Surabaya (BLH Kota Surabaya, 2015)

Surabaya terdiri dari beberapa formasi geologi antara lain: formasi Lidah, formasi Pucangan, dan formasi Kabuh yang berupa batuan keras dan endapan aluvial berupa kerakal, kerikil, pasir, dan lempung (Sukardi, 1992) (lihat Tabel 2.1 dan Gambar 2.2). Penurunan muka tanah banyak terjadi di perkotaan secara alami akibat sifat material berupa endapan aluvial, dan ditambah dengan beban tanah akibat pembangunan. Aluvial merupakan material yang banyak tersebar di kota-kota besar seperti di Kota Jakarta, Semarang dan Surabaya. Endapan aluvial ini merupakan endapan yang belum terlitifikasi (batuan belum terbentuk) sehingga masih dalam proses konsolidasi dan kompaksi (Sophian, 2010).

Tabel 2. 1 Data Jenis Tanah Kota Surabaya

Area	Tipe Tanah
Pusat	Aluvium
Utara	Aluvium
Selatan	Aluvium, batu pasir, batu pasir tufan, batu lempung
Barat	Aluvium, batu pasir, batu pasir tufan, batu lempung
Timur	Aluvium, batu pasir, batu lempung

Sumber: Sukardi, 1992



Gambar 2. 2 Peta Geologi Kota Surabaya Skala 1:100.000 (Sukardi, 1992)

2.3 Synthetic Aperture Radar (SAR)

SAR dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan citra optis akibat gangguan awan dan waktu perekaman yang hanya dapat dilakukan di siang hari. Sensor radar pada antenna SAR ini dapat merekam permukaan baik siang maupun malam hari karena SAR memancarkan gelombang radio (*microwave*), gelombang tersebut dipancarkan sendiri oleh sensor pemancar (*transmitter*) ke permukaan bumi kemudian diterima kembali oleh sensor penerima (*receiver*), tidak tergantung terhadap radiasi matahari dalam pengamatan permukaan bumi.

Radar SAR menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa *band* saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombangnya (Tomiyama, 2010). *Band* yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya *band* X, C, L dan P (Lusch, 1999). Semakin panjang gelombang yang dipancarkan maka gelombang tersebut akan memiliki kemampuan penetrasi awan dan uap air yang semakin meningkat, tetapi berbalik dengan frekuensi yang digunakan.

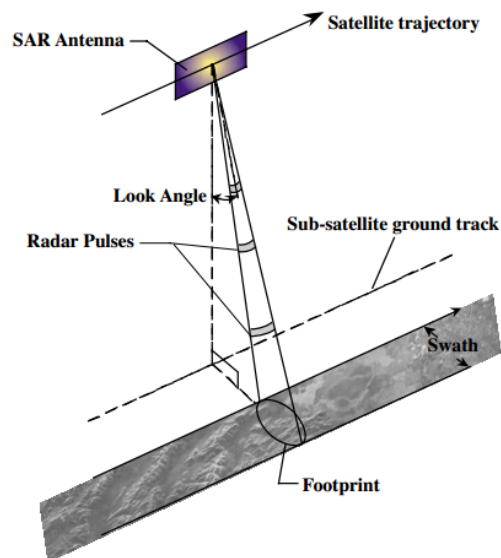
Tabel 2. 2 Panjang Gelombang dan Frekuensi Radar SAR

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

Sumber: Lusch, 1999

SAR merekam sapuan dengan arah ke samping (*side-looking*) pada resolusi jarak (*range resolution*) yang tinggi dan jalur lintasan terbang (*along-track*) untuk membentuk suatu citra yang beresolusi tinggi (Gambar 2.3). *Range resolution* pada raw data di hitung dengan panjang gelombang dan *incidence angle*. Dengan menggunakan metode SAR, citra dapat difokuskan pada titik reflektor pada suatu permukaan yang dengan menjumlahkan ribuan gema secara koheren (Sandwell, et al., 2011). Citra yang telah terfokus (*focused image*) ini mengandung dua informasi penting dalam tiap piksel, yaitu *amplitude (backscatter)* dan *phase (range)*. *Amplitude* berkaitan dengan kuat lemahnya energi dari sinyal *backscatter* yang direkam oleh sensor. Sedangkan *phase* merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap 2π (Ismullah, 2004). Ketika titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor SAR.

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa ketika di orbit, satelit SAR memiliki sumbu panjang yang berhimpit dengan arah terbang atau yang disebut sebagai *azimuth* dan sumbu pendek atau yang disebut sebagai *range*. Radar mengirim gelombang ke satu sisi lintasan permukaan (*ground track*) dengan cara menyinari bumi ke seluruh area sapuan (*footprint*). Refleksi energi yang kembali ke radar akan direkam sebagai fungsi dari *fast time* pada arah *range* dan *slow time* pada arah *azimuth* (Sandwell, et al., 2011).



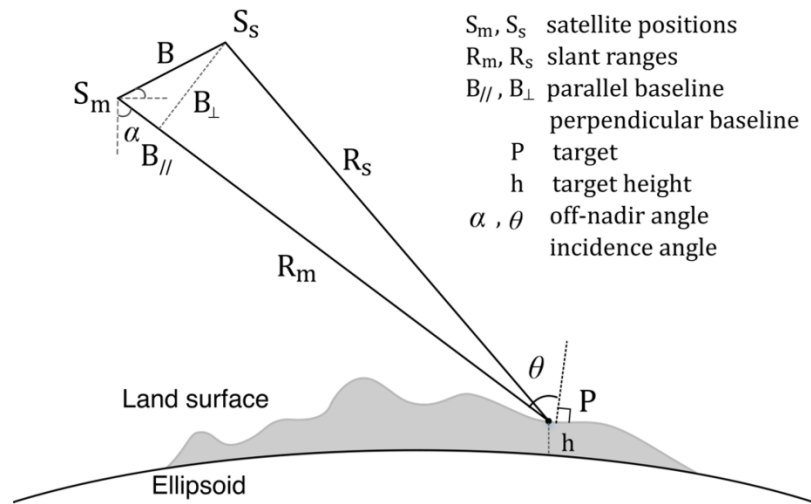
Gambar 2. 3 Geometri Pencitraan SAR (Sandwell, et al., 2011)

2.4 *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*

Pemetaan penurunan tanah dengan presisi tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan teknik *satellite-based* menggunakan SAR. Metode yang sudah dikenal pada umumnya yaitu *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Massonet & Feigl, 1998). Dasar dari metode ini adalah teknik analisa pasangan citra SAR untuk mengidentifikasi perubahan permukaan hingga sub-sentimeter di sepanjang garis pengamatan sensor ke target atau *Line of Sight (LoS)*.

SAR interferometri digunakan untuk menghitung pola interferensi yang disebabkan oleh perbedaan fase antara dua citra SAR, dimana biasanya ini diproses dari dua pengulangan lintasan satelit (*two repeat passes*) pada waktu yang berbeda. Gambar 2.4 menunjukkan geometri SAR interferometri dimana

Idan menunjukkan citra master dan *slave* pada sebuah pasangan citra (Xiong, et al., 2017)



Gambar 2. 4 Geometri SAR Interferometri (Xiong, et al., 2017)

Nilai perbedaan fase ($\hat{\phi}$) pada interferogram mengandung 5 kontribusi yang terdiri dari kontribusi fase akibat posisi orbit ($\hat{\phi}_{orb}$), topografi ($\hat{\phi}_{topo}$), K atmospheric delay ($\hat{\phi}_{atm}$), deformasi permukaan ($\hat{\phi}_{def}$), dan noise ($\hat{\phi}_{noise}$). O A

$$\hat{\phi} = \hat{\phi}_{orb} + \hat{\phi}_{topo} + \hat{\phi}_{atm} + \hat{\phi}_{def} + \hat{\phi}_{noise} \quad (2.2)$$

Karena yang dibutuhkan hanya nilai deformasi, maka semua kontribusi selain nilai fase deformasi ($\hat{\phi}_{def}$) sebaiknya dihilangkan.

Perbedaan fase akibat orbit ($\hat{\phi}_{orb}$) terjadi karena adanya *shift* (perpindahan) lintasan orbit antara dua akuisisi SAR menggunakan informasi ketepatan orbit (*precise orbit*) yang biasanya digunakan sebagai parameter utama ketika menghitung jarak orbit (*orbital baseline*) (Zhou, et al., 2009). Sentinel-1 secara khusus menyediakan data orbit yang lebih presisi untuk mendapatkan akurasi sub-sentimeter (Yague-Martinez, et al., 2016). Sedangkan untuk menghapus efek orbit, beberapa peneliti melakukan penyesuaian *fringes* pada interferogram agar sesuai dengan *displacement* yang diamati oleh 7 titik *benchmark* geodetik (Murakami, et al., 1996).

Untuk menghitung efek topografi maka dibutuhkan data *Digital Elevation Model* (DEM) yang akurat. Untuk menghapus efek topografi, nilai DEM ini kemudian dikurangi dengan *differential interferogram* asli (Zhou, et al.,

2009). Penghapusan efek topografi ini bagaimanapun tidak komplit, tergantung pada data referensi DEM yang digunakan (Haghighi & Motagh, 2017).

Komponen fase atmosferik merupakan komponen yang sulit dihitung. Metode praktis untuk mengurangi efek atmosfer pada interferogram dilakukan dengan cara menghasilkan dan menggabungkan beberapa interferogram, teknik ini dikenal sebagai *stacking* (Hanssen, 2001). Sedangkan pada kondisi kering atau basah, kontribusi beda fase akibat topografi ($\hat{\phi}_{\text{topo}}$) dapat diekspresikan sebagai berikut (Kampes, 2005):

$$\hat{\phi}_{\text{topo}} = \frac{8}{\lambda} B_D(\theta) \frac{h}{R} \quad (2.3)$$

dimana:

- λ = panjang gelombang yang dibawa oleh sistem radar
- B_D = *perpendicular baseline*
- θ = besar *incidence angle*
- h = tinggi relatif permukaan terhadap referensi horizontal platform
- R = jarak antara sensor ke target/permukaan

Kontribusi nilai beda fase juga dapat dipengaruhi oleh penundaan sinyal ketika melintasi lapisan troposfer dan ionosfer. Pengaruh troposfer dan ionosfer pada waktu perjalanan sinyal disebut juga sebagai *atmospheric path delay* (PD), ini dapat menyebabkan kesalahan hingga beberapa meter jika diabaikan, namun bagaimanapun komponen troposfer memberikan pengaruh terbesar dimana ini disebabkan oleh tekanan *hydrostatic* (tekanan udara), *wet* (uap air), dan *liquid* (tetesan air) di sepanjang jalur perjalanan sinyal (Schubert, et al., 2015). Penundaan sinyal di troposfer pada SAR dapat diformulasikan dengan persamaan berikut ini (Zebker, et al., 1997):

$$\hat{\phi}_{\text{atm}} = F \frac{8 \cdot 5472}{\lambda} \int_{\text{path}} (O_{\text{u}} + O_{\text{e}}) ds \quad (2.4)$$

dimana:

D = elevasi target

D_0 = tinggi lapisan toposfer secara efektif

θ = *incidence angle*

n_0 = refraktivitas pada saat kondisi hidrostatik

n_e = refraktivitas pada saat kondisi basah

Refraktivitas hidrostatik (n_0) dan refraktivitas basah (n_e) akibat *water vapor* masing-masing memiliki persamaan sebagai berikut (Thayer, 1974):

$$n_0 = G_5 \frac{P_x}{T_x} \quad (2.5)$$

$$n_e = G_6 \frac{P_a}{T_a} + G_7 \frac{P_w}{T_w} \quad (2.6)$$

dimana:

k_1 = (77,604±0,014) K/mbar

k_2 = (64,79±0.08) K/mbar

k_3 = (3.776± 0,004) x 10⁵ K²/mbar

P_x = tekanan parsial udara kering (dalam mbar)

P_w = tekanan parsial uap air (dalam mbar)

α_x = faktor kompresibilitas untuk udara kering

α_w = faktor kompresibilitas uap air.

Konsekuensi lain yang didapat dari perbedaan fase yaitu kesalahan sumber seperti *phase decorrelation* dan kelembaban tanah yang digabungkan menjadi kesalahan *noise* (Haghighi & Motagh, 2017). Untuk menghapus *phase noise* yang terdapat pada interferogram maka dilakukan teknik *adaptive filtering* dan *multilook* (Goldstein & Werner, 1998).

Setelah melakukan pengurangan kontribusi fase yang tidak diinginkan pada interferogram, selanjutnya beda fase *displacement* dapat diturunkan dari formula 2.7 (Dang, et al., 2014). Adapun *displacement* diartikan sebagai besar kontribusi deformasi permukaan di sepanjang LoS.

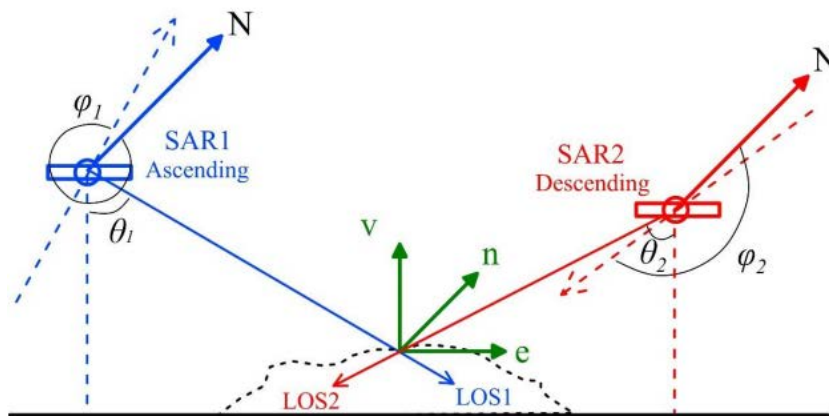
$$\Delta \hat{l} = \frac{8}{\lambda} \Delta l \quad (2.7)$$

dimana:

$\Delta \hat{l}$ = perubahan panjang gelombang antara dua pengamatan disepanjang LoS
 (T_0 F T_0)

λ = panjang gelombang yang dibawa oleh sistem radar

LoS adalah *surface displacement* antara satelit dengan *ground pixel* pada arah azimuth di sepanjang jalur terbang. Karena sistem pencitraan SAR secara geometri adalah *side-looking*, maka DInSAR Konvensional hanya dapat mengestimasi *ground displacement* satu dimensi (1D) di sepanjang radar LoS (lihat Gambar 2.5). Metode umum untuk mengestimasi *vertical displacement* adalah dengan membagi *LoS displacement* yang didapatkan dari DInSAR dengan kosinus dari *incidence angle*, dengan asumsi tidak terjadi pergerakan horizontal (Hu, et al., 2014).



Gambar 2. 5 Geometri Pencitraan Satelit Radar pada Arah *Ascending* dan *Descending* Hubungannya dengan *LoS Displacement* (Hu, et al., 2014)

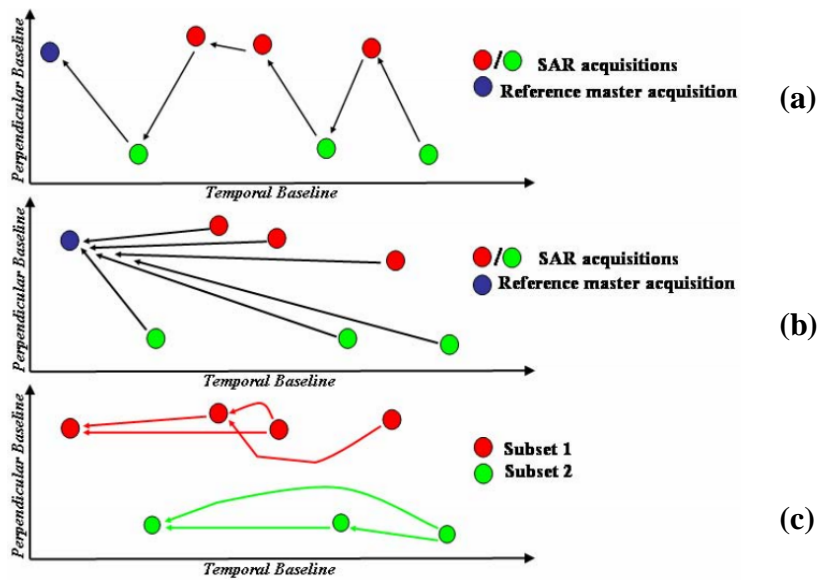
2.5 Time Series InSAR (TS-InSAR)

Analisa TS-InSAR merupakan metode yang efektif digunakan untuk mengamati penurunan muka tanah di area perkotaan, ini dapat membantu peneliti dalam memahami dampak pembangunan kota terhadap pergerakan muka tanah (Perissin & Wang, 2010 dan Aslan, et al., 2018). Aslan, et al (2018) juga

menjelaskan bahwa objek-objek yang banyak ditemukan dipertanian seperti singkapan batuan besar, jembatan, atau jalan raya memiliki kerapatan spasial yang tinggi (*high spatial density*) sehingga mampu mengembalikan sinyal balik yang kuat dan stabil atau yang disebut dengan *persistent scatterers*. Beberapa tahun terakhir, metode TS-InAR secara luas dimanfaatkan untuk menghitung dan mengamati deformasi permukaan yang diakibatkan oleh pengambilan air tanah (Tomas, et al., 2011), konsolidasi tanah (Kim, et al., 2010), dan reklamasi tanah (Xu, et al., 2016).

Pendekatan metode TS-InSAR secara khusus dikembangkan untuk mengatasi masalah dekorelasi fase dan penundaan perambatan sinyal di atmosfer (kelemahan metode *conventional DInSAR*) dengan menggunakan puluhan atau ratusan data SAR yang diamati dalam jangka panjang (*long series*). Pada umumnya, tujuan dikembangkannya metode TS-InSAR yaitu untuk mendeteksi koherensi piksel berdasarkan besarnya nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR), serta mengestimasi dan meminimalkan *phase error* yang tidak diinginkan pada interferogram sehingga didapatkan nilai *mean LoS velocity* (Berardino, et al., 2002; Ferretti, et al., 2011; Hooper, 2008). Menurut (Shanker, et al., 2011), dengan memanfaatkan sejumlah data SAR *long time series*, diharapkan keterbatasan DInSAR seperti “*uncorrelated phase noise terms*” yang diakibatkan oleh penundaan perambatan sinyal di atmosfer (*atmospheric propagation signal*) dapat diminimalisir.

Dengan mempertimbangkan citra SAR $N + 1$ relatif pada area yang sama maka diperoleh dari urutan interferogram N (Gambar 2.6-a). Namun bagaimanapun didalamnya mengandung dekorelasi interferogram akibat adanya *high perpendicular baseline*.



Gambar 2. 6 Representasi Distribusi Time-Series Interferogram; (a) *Consecutive interferogram pairs*, (b) Gabungan pasangan interferogram yang mengacu pada satu citra master, (c) Gabungan pasangan *small baseline interferogram*, pada kasus ini diperoleh beberapa bagian atau subset (Casu, et al., 2009).

Kemungkinan lainnya dengan melibatkan perolehan sejumlah kumpulan interferogram antara tiap citra SAR dan citra master (Gambar 2.6-b), namun kelemahannya terdapat pasangan citra yang memiliki *perpendicular baseline* yang lebih besar dari pasangan lainnya (pada kasus ini dipengaruhi oleh *noise*), ini merupakan dasar dari metode *Permanent Scatterers* (PS) InSAR yang lebih lanjut dijelaskan pada sub bagian 2.5.1. Sedangkan pemilihan pasangan interferogram juga dapat dilakukan berdasarkan karakteristik korelasi spasial dan temporal dari DInSAR konvensional, dalam kasus ini metode Small Baseline Subset (SBAS) dapat dipilih untuk mempertimbangkan korelasi pasangan interferogram berdasarkan penentuan *threshold*. Metode SBAS menghasilkan lebih dari satu subset data akuisisi, akibatnya harus *ter-linked* satu sama lain. Lebih lanjut, metode SBAS dijelaskan pada sub bagian 2.5.2.

Hasil yang diharapkan dari metode TS-InSAR adalah untuk mendapatkan *cumulative displacement time-series* dan rata-rata kecepatan deformasi. Metode ini baik digunakan untuk mengamati pergerakan yang cenderung stabil atau relatif kecil, namun tetap disajikan dengan bukti-bukti yang menjadi faktor terjadinya deformasi di suatu permukaan.

2.5.1 *Permanent Scatterer InSAR (PSInSAR)*

Metode PSInSAR pertama kali dikembangkan oleh Ferretti, et al (2001) untuk mengatasi masalah dekorelasi dan penundaan sinyal dengan mengidentifikasi dan menganalisa sinyal balik yang stabil (*point-like stable reflectors*). Metode ini menggunakan *large baseline* untuk mempertimbangkan informasi sinyal fase, walaupun sebenarnya hanya titik yang memiliki karakter sinyal balik yang sama dalam ruang dan waktu yang dipertahankan sebagai informasi fase interferometri, ini merupakan *key idea* dari algoritma *Persistent Scatterers (PS)*. Melalui metode ini, piksel-piksel dipilih dengan cara melihat kestabilan *amplitude* dari semua citra, minimal 30 *scenes*. Karenanya, kalibrasi radiometrik yang tepat sangat dibutuhkan untuk memilih piksel-piksel yang dapat dipercaya (Ferretti, et al., 2001).

Hassen (2003), Lyons & Sandwell (2003), dan Crosetto, et al., (2005) melakukan beberapa modifikasi dan berhasil menemukan *Persistent Scatterers (PS)* di area urban untuk mengestimasi *displacement time-series* pada tiap PS. Menurut Hanssen (2001), penundaan sinyal di atmosfer tidak bergantung pada *baseline* dan tidak berkorelasi dengan interval waktu baik satu hari atau lebih, tetapi secara spasial berkorelasi pada tiap interferogram.

Pada metode PSInSAR, semua citra dipasangkan terhadap satu master, sehingga didapatkan sejumlah pasangan interferogram yang mengacu pada citra master. Selanjutnya, piksel-piksel pada tiap interferogram diamati dan dianalisis untuk melihat hubungan antara variasi *amplitude* dan fase terhadap ruang dan waktu (Haghighi & Motagh, 2017).

a. *PSInSAR Algorithm*

Dalam meminimalkan dekorelasi *phase*, maka dilakukan proses *filtering* amplitudo menggunakan nilai *amplitude dispersion index* ‘ α ’ yang didapatkan dari rasio berikut (Hooper, 2008):

$$\alpha = \frac{\sigma_a^2}{\mu_a^2} \quad (2.8)$$

dimana:

$\hat{\sigma}$ = standart deviasi perbedaan nilai amplitudo antara *slave* dan *master*

\bar{a} = rata-rata nilai amplitudo

Piksel-piksel yang terpilih berdasarkan kestabilan amplitudo memiliki nilai *amplitude dispersion index* ($\hat{\sigma}$), dimana nilainya berada pada ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan, dan piksel tersebut yang akan berperan sebagai kandidat PS awal. Selanjutnya kandidat PS awal tersebut diuji berdasarkan kestabilan *phase* menggunakan perhitungan konvergensi koherensi (\hat{C}) yang dinyatakan dalam persamaan berikut (Hooper, et al., 2007):

$$\hat{C} = \frac{5}{C} \frac{\sum_{i=0}^{N-1} |E_i|}{\sum_{i=0}^{N-1} |E_i|} \quad (2.9)$$

dimana:

N = jumlah interferogram

\hat{E}_i = nilai *wrapped phase* pada piksel T_i di interferogram E_i

$\bar{\hat{E}}_i$ = rata-rata nilai \hat{E}_i

$\Delta_{i,0}$ = perubahan bagian yang tidak berkorelasi secara spasial karena kesalahan *look angle* pada piksel T_i di interferogram E_i

Piksel-piksel yang memenuhi konvergensi koherensi (\hat{C}) terhadap nilai *threshold* akan dipilih sebagai PS. Nilai PS tersebut memuat nilai *wrapped phase*, selanjutnya dilakukan *unwrapping*, nilainya ditambahkan dengan bilangan *phase cycle* (2π) untuk mendapatkan nilai *original phase* kembali, proses ini disebut sebagai *phase unwrapping*. Pada proses *phase unwrapping*, dekorelasi atau *error* lain karena atmosferic, *look angle*, dan orbit satelit juga dihapuskan. *Displacement* kemudian dapat diestimasi menggunakan nilai *phase* pada masing-masing PS. Sejak diperkenalkannya PS-InSAR, penerapan interferometri radar telah meningkat pesat (Ruiz, 2008).

2.5.2 Small Baseline Subset (SBAS)

Perbedaan SBAS dan PSInSAR terletak pada jumlah master yang digunakan, jika PSInSAR hanya menggunakan satu citra sebagai master, sedangkan SBAS terdiri dari beberapa subset, antara subset satu dengan yang lain memiliki master yang berbeda-beda (*multiple master*), lihat gambar 2.5-c, namun tetap berdasarkan *small baseline pair* (Hooper, et al., 2007). Bagaimanapun, penggunaan *perpendicular/ temporal baseline* yang terlalu besar akan meningkatkan dekorelasi pada interferogram. Melalui kombinasi *small baseline subset*, metode ini diharapkan dapat mengatasi fenomena dekorelasi temporal dengan cara memilih distribusi sinyal balik atau *distributed scatterers* (DS) berdasarkan tingkat koherensinya (Berardino, et al., 2002). Selain itu, dengan menggunakan metode SBAS maka dapat mengurangi masalah dekorelasi baseline akibat besarnya *perpendicular baseline* antara dua pengamatan (tidak lebih $\frac{3}{4}$ dari *critical baseline*) dan menghindari dekorelasi temporal yang terjadi karena adanya perubahan sinyal balik akibat perubahan vegetasi atau salju antara dari dua pengamatan.

Sebelum SBAS-DInSAR algorithm diterapkan, masing-masing *small baseline* interferogram diproses berdasarkan metode DInSAR untuk mendapatkan *differential interferogram* dalam jumlah besar dimana masing-masing piksel mengandung nilai *unwrapped phase difference*.

$$\hat{U}_{\phi_2} = \hat{\phi}_3 F \hat{\phi}_2 \quad (2.10)$$

$\hat{\phi}_3$ dan $\hat{\phi}_2$ merupakan nilai fase yang berhubungan dengan dua citra SAR yang diperoleh dari waktu t_1 dan t_2 secara berurutan, sedangkan \hat{U}_{ϕ_2} adalah *unwrapped phase difference* pada interferogram. Nilai ini dapat dimanfaatkan untuk memperoleh *displacement time series*, namun secara umum memiliki kekurangan sehingga perlu diselesaikan dengan cara memanfaatkan instrumen matematika yang lebih canggih; salah satunya digunakan metode *Singular Value Decomposition* (SVD). SVD bertujuan untuk memberikan solusi *Least Square*

Inversion untuk sistem inversi linier. Berikut adalah penjelasan algoritma SBAS-DInSAR (Berardino, et al., 2002) yang lebih lengkap.

a. *SBAS Algorithm*

SBAS-DInSAR dikembangkan untuk mengevaluasi perubahan deformasi permukaan bumi dengan memanfaatkan *multiple small baseline subset* yang dikombinasikan untuk mendapatkan *unwrapped differential interferograms*. Algoritma SBAS-DInSAR ditunjukkan oleh Berardino, et al (2002) untuk mengatasi *atmospheric artifacts* dan kesalahan topografi yang terdapat pada kumpulan interferogram, dan mendapatkan informasi *displacement time-series*.

Sebelum menjelaskan lebih lanjut mengenai algoritma SBAS-DInSAR, pertimbangkan citra SAR $N+1$ relatif pada area yang sama dan sesuai dengan waktu yang ditentukan (P_1, \dots, P_C). Diasumsikan bahwa semua citra telah *coregistered* dengan mengacu pada satu citra (disebut sebagai *master*) yang memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi *common spatial grid*. Titik awal dari metode SBAS ini menghasilkan sejumlah *differential interferogram*, M , yang meliputi $N+1$ akuisisi SAR, sebagai mana mestinya digunakan untuk mengatasi fenomena dekorelasi. Untuk mencapainya, maka pemilihan pasangan citra SAR ditentukan berdasarkan *small spatial/temporal baseline*. Berdasarkan hipotesis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa kemungkinan jumlah *differential interferogram*, M , memenuhi ketidaksamaan berikut ini (diasumsikan N berjumlah ganjil):

$$\frac{C-5}{6} Q / Q 0 - \frac{C-5}{6} A \quad (2.11)$$

Selanjutnya, nilai fase pada tiap interferogram (\hat{U}_j) didefinisikan berdasarkan formula berikut ($F = 1, \dots, M$):

$$\begin{aligned} \hat{U}_j(P, T, N) &= \hat{U}_j(P_s, T, N) - \hat{U}_j(P_r, T, N) \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} [\phi(P_s, T, N) - \phi(P_r, T, N)] + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\Delta D \sin \theta}{\sin \theta} + \frac{4\pi}{\lambda} [\phi_{oc}(P_s, T, N) - \phi_{oc}(P_r, T, N)] \\ &+ \Delta \phi_j, \quad F = 1, \dots, M \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dimana θ adalah koordinat *azimuth* dan *slant-range* pada setiap piksel, λ adalah panjang gelombang radar, $\phi(P_s, T, N)$ dan $\phi(P_r, T, N)$ menunjukkan nilai fase pada dua citra yang terdapat pada tiap interferogram, $\phi(P_s, T, N)$ dan $\phi(P_r, T, N)$ merupakan *surface displacement* berdasarkan *line of sight* pada dua pengamatan dan ϕ merupakan kesalahan topografi, ϕ_D *perpendicular baseline*, ϕ_a adalah *look angel*, selisih $\phi_{ca}(P_s, T, N)$ dan $\phi_{ca}(P_r, T, N)$ menunjukkan nilai ketidaksamaan *atmospheric* antara dua akuisisi atau yang disebut sebagai *atmospheric phase-component*, dan istilah ϕ_N merupakan kontribusi fase akibat efek dekorelasi *baseline* dan *temporal* serta efek *thermal noise*.

Nilai yang didapatkan pada formula 2.12 (ϕ) masih berupa interval fase (*wrapped phase*) yang dihitung dari pasangan citra yang telah teregistrasi; karena pada persamaan berikutnya (2.13) mengandalkan nilai *unwrapped phase*, maka operasi *phase unwrapping* perlu diterapkan pada masing-masing nilai fase ($\phi(T, N)$) hasil metode DInSAR.

Sedangkan untuk mendapatkan informasi fase akibat deformasi, maka komponen-komponen fase (persamaan 2.12) akibat topografi, *atmospheric delay*, dan *noise* harus dipisahkan dari nilai $\phi(T, N)$. Setelah menghapus komponen-komponen fase yang disebutkan sebelumnya, selanjutnya sebuah sistem persamaan M dalam N *unknown* dapat diperoleh dari persamaan 2.13. Adapun bentuk matrik dari sistem tersebut yaitu sebagai berikut:

$$A \hat{\phi} = \hat{\phi}_D \quad (2.13)$$

dimana A adalah koefisien matrik dengan dimensi $M \times N$, $\hat{\phi} \in [1, \dots, M]$ dan N menunjukkan jumlah interferogram dan akuisisi citra SAR, secara masing-masing/ berurutan. $\hat{\phi} = [\hat{\phi}(P_s), \dots, \hat{\phi}(P_r)]$ menyatakan vektor nilai fase yang tidak diketahui (*vector of unknown phase values*) yang berhubungan dengan piksel-piksel koherensi tinggi. $\hat{\phi}_D = [\hat{\phi}_D(P_s), \dots, \hat{\phi}_D(P_r)]$ menyatakan vektor nilai fase yang telah ter-*unwrapped* (*vector of unwrapped phase values*) yang berkaitan dengan *differential interferogram*.

Untuk memberikan solusi yang tepat, (Berardino, et al., 2002), memodifikasi sistem persamaan 2.13 untuk mengganti nilai yang tidak diketahui (*unknown*) dengan nilai rata-rata kecepatan fase (*mean phase velocity*) antara akuisisi waktu yang berdekatan. Dengan demikian, persamaan 2.13 dirubah kedalam bentuk formula berikut:

$$\mathbf{B} \mathbf{v} = \mathbf{R} \mathbf{U} \quad (2.14)$$

dimana \mathbf{B} adalah matrik dengan dimensi $M \times N$ yang elemen-elemennya didefinisikan dengan:

$$B_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{2} (v_{i+1} + v_i) & \text{if } |i-j| = 1 \\ 0 & \text{if } |i-j| > 1 \end{cases} \quad \text{for } i, j = 1, \dots, L \quad (2.15)$$

IE dan IS berkaitan dengan indeks waktu pengamatan pasangan citra yang digunakan untuk menghasilkan interferogram, diasumsikan bahwa citra master (IE) dan *slave* (IS) diatur berurutan yakni $IE_j > IS_j, \quad j = 1, \dots, L$. Tentunya, pada kasus ini, dekomposisi SVD (*Singular Value Decomposition*) diaplikasikan untuk matrik \mathbf{B} , dan batasan *minimum-norm* untuk vector kecepatan/ *velocity* (\mathbf{v}) diaplikasikan pada tahap akhir penyelesaian, sedangkan untuk mendapatkan \mathbf{U} maka komponen fase yang tidak diinginkan akibat efek atmosfer diestimasi dengan cara menghapus komponen *low-pass* (LP) *component of deformation signal* yang sudah diperoleh dari persamaan 2.12 melalui formula 2.16 berikut:

$$[\mathbf{U}, \mathbf{V}]^T \mathbf{L} = \mathbf{U} \quad (2.16)$$

dimana:

$$\mathbf{L} = [(\frac{1}{2} (v_{i+1} + v_i)), \dots, (\frac{1}{2} (v_{D+1} + v_D))] \quad (2.17)$$

Sedangkan $\hat{L} = [L^T, \hat{v}]$, dan \hat{v} berkaitan dengan LP component pada sinyal *unwrapped* dan *topography artifacts* pada masing-masing waktu pengamatan. *Phase time variation* dapat ditulis dengan:

$$f(P) = R(P, F, P_4) + \frac{5}{6} \hat{v}(P, F, P_4)^6 + \frac{5}{6} \hat{v}(P, F, P_4)^7 \quad (2.18)$$

dimana merupakan rata-rata kecepatan yang tidak diketahui (*the unknown mean velocity*), *mean acceleration*, dan *mean acceleration variation* pada masing-masing waktu pengamatan, sedangkan *unknown model vector* dari \hat{L} persamaan 2.16 adalah

$$\hat{L} = [R, \hat{v}, \hat{v}^6, \hat{v}^7]^T \quad (2.19)$$

dan adapun matrik M merupakan bentuk dari model berikut:

$$M = \begin{bmatrix} \hat{v}^5 & \frac{\beta_1 \cdot 7 \beta_2}{2} & \frac{(\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2}{2} & \hat{v} & \hat{v}^6 \\ \hat{v}^5 & \frac{\beta_1 \cdot 6 \beta_2 \cdot 7 \cdot \beta_3}{2} & \frac{(\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2 \cdot 7 \cdot (\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2}{2 (\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2} & \hat{v} & \hat{v}^6 \\ \hat{v}^5 & \dots & \dots & \hat{v} & \hat{v}^6 \\ \hat{v}^5 & \frac{\beta_1 \cdot 6 \beta_2 \cdot 7 \cdot \beta_3}{2} & \frac{(\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2 \cdot 7 \cdot (\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2}{2 (\beta_1 \cdot 7 \beta_2)^2} & \hat{v} & \hat{v}^6 \\ \hat{v}^5 & \dots & \dots & \hat{v} & \hat{v}^6 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Tong & Schimdt (2016) menjelaskan teknik *coherence-based SBAS* menggunakan *least square inversion* pada tiap piksel fase. *Least square inversion* merupakan pendekatan matriks tujuannya untuk mengestimasi parameter yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*) (Supriyanto, 2007). Teknik ini dianggap kurang sensitif terhadap *noise* yang terdapat pada data input, sedangkan hasil akhirnya berupa sinyal koheren spasial dengan cakupan yang padat. Tong & Schimdt (2016) memecahkan masalah inversi (persamaan 2.21) berdasarkan *pixel-by-pixel* untuk mendapatkan InSAR *time-series* pada kumulatif *line-of-sight* $M(t)$, sedemikian hingga $\hat{L}(P) = \tilde{A}^{\infty} = I \cdot \hat{v}$.

Data *kernel matrix* memiliki ukuran $[n \times s + 1]$, dimana n adalah jumlah interferogram dan s adalah jumlah kenaikan secara temporal (*temporal increment*).

$$\begin{matrix}
 \hat{I} & 1 & 1 & 0 & \dots & \hat{U}_5 \sin \theta_5 & \dots & \hat{U}_5 \sin \theta_5 \\
 \hat{I} & 0 & 1 & 1 & \dots & \hat{U}_5 \sin \theta_5 & \dots & \hat{U}_5 \sin \theta_5 \\
 \hat{I} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \hat{I} & 0 & \hat{a} / \lambda P_5 & F \hat{a} / \lambda P_5 & 0 & \dots & 0 & \dots \\
 \hat{I} & 0 & \hat{a} / \lambda P_6 & F \hat{a} / \lambda P_6 & \dots & \dots & 0 & \dots
 \end{matrix} = \hat{I} \hat{U} \hat{C} \hat{U}^T \hat{D} \hat{U} \hat{C} \hat{U}^T \hat{I}^T \quad (2.21)$$

dimana:

- \hat{I} = *incremental displacement* pada masing-masing pengamatan
- \hat{C} = *LoS phase of the i^{th} interferogram*
- \hat{U} = *perpendicular baseline of the i^{th} interferogram*
- \hat{U} = faktor skala yang ditentukan oleh panjang gelombang radar dan *incidence angle* gelombang radar serta jarak dari radar ke permukaan tanah
- \hat{C} = matrik diagonal yang mengandung bobot koherensi
- \hat{U} = *Coherence of the i^{th} interferogram*
- \hat{D} = *DEM error*
- \hat{a} = *Smoothing factor*

Tong & Schimdt (2016) menggunakan *smoothing factor* (λ) untuk meniadakan nilai yang tidak realistis dimana menunjukkan fluktuasi temporal yang besar, dan ini akan mempengaruhi hasil akhir *displacement time-series*. Sedangkan untuk memberikan bobot yang sama pada masing-masing pengamatan (*epoch*) pada *temporal smoothing*, Tong & Schimdt (2016) menerapkan *smoothing factor* (λ) yang diskalakan oleh interval temporal dari observasi InSAR. Dari teknik ini diharapkan akselerasi/ percepatan gerakan dapat dengan mudah diamati, khususnya pada area yang deformasinya tidak stabil secara temporal.

2.6 Koherensi

Rocca, et al (2014) menjelaskan bahwa area yang tertutup oleh vegetasi lebat sehingga menunjukkan *foreshortening* atau *layover* akan menghasilkan nilai koherensi mendekati nol, artinya tidak dapat digunakan untuk aplikasi InSAR. Koherensi yang baik ditunjukkan dengan warna terang dan nilai mendekati 1. Monti Guarnieri, et al., (1992) menghitung koherensi citra di area hutan menggunakan citra ERS-1, hasilnya menunjukkan sebagian besar tampak hitam/gelap, ini yang menunjukkan rendahnya koherensi. Efek ini terjadi karena rendahnya daya penetrasi gelombang C ketika melalui area tutupan kanopi/vegetasi sehingga menimbulkan variasi posisi daun dan batang dan terjadi perubahan sinyal balik (*scatterer*), secara teori ini dapat meniadakan koherensi; begitu juga jika melewati badan air maka koherensi akan menjadi hilang. Menurut Prati, et al., (1994), hilangnya koherensi secara tiba-tiba juga terjadi akibat adanya kegiatan pembajakan dan masa panen di area perkebunan.

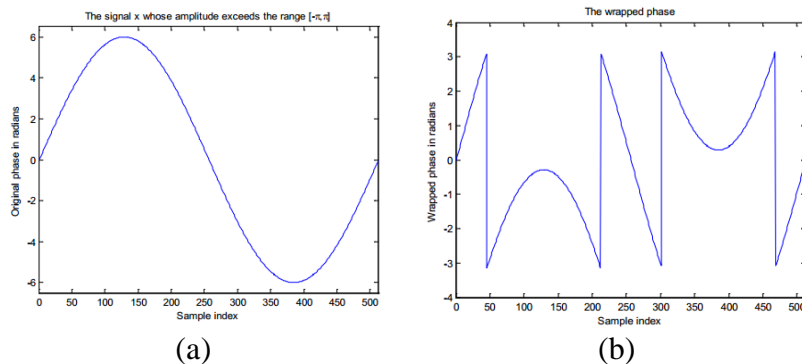
Koherensi antara citra master dan *slave* dapat menunjukkan keduanya memiliki tingkat kesamaan, dengan demikian ini baik digunakan dalam pembuatan DEM. Sedangkan lemahnya koherensi akan menghasilkan interferogram yang kurang baik. Lemahnya koherensi ini dapat diakibatkan oleh 4 faktor yaitu temporal (selisih waktu antara dua pengamatan), geometrik (kesalahan orbit), *volumetric* (vegetasi), dan *processing*. Faktor yang tidak dapat dihindari adalah faktor temporal dan *volumetric*, piksel yang memiliki dekorelasi temporal akibat perubahan vegetasi (*low coherence*) akan disisihkan dari analisa (Tong & Schimdt, 2016).

2.7 Phase Unwrapping

Kontribusi nilai fase akibat topografi dan deformasi yang terkandung pada interferogram dapat diketahui setelah diproses melalui tahap *phase unwrapping*. GMTSAR menyediakan program SNAPHU (*Statistical-Cost, Network Flow Algorithm for Phase Unwrapping*) berdasarkan *statistical cost network-flow algorithm*, program ini dikembangkan oleh Chen & Zebker (2000). *Phase unwrapping* merupakan tahap perhitungan perubahan nilai fase pada interferogram dari satu titik ke titik selanjutnya dan mengintegrasikan kedalam

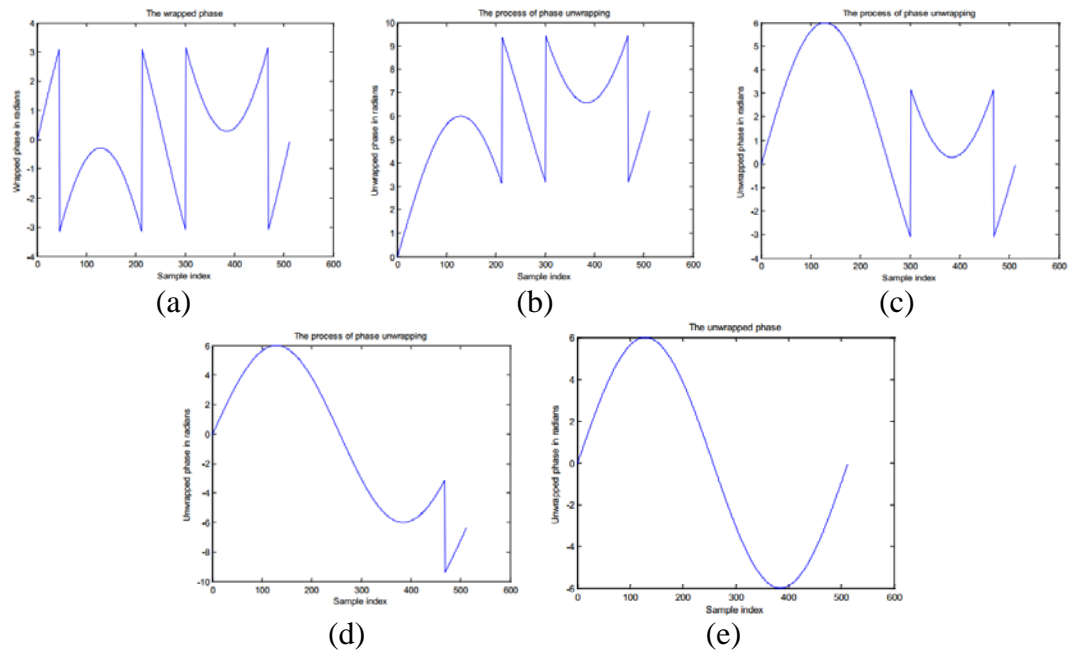
fase yang lebih halus. Jika permukaannya datar (*phase jump* antara tiap titik akan kecil), maka proses *unwrapping* akan lebih mudah. Ini sulit dilakukan di permukaan topografinya bervariasi, karena itu sebaiknya *phase jump* dari titik ke titik tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ cycle ($1 \text{ cycle} = 2\pi \text{ rad}$) (Sharav, 2013).

Gdeisat & Lilley (2018) memberikan penjelasan mengenai '*1D Phase Unwrapping Problem*' dalam Gambar 2.7. Berdasarkan Gambar 2.7-a dapat diketahui bahwa pada umumnya nilai fase amplitudo memiliki nilai fase kontinu dengan rentang $-\pi$ sampai π . Pada kasus dimana nilai fase sesungguhnya melebihi rentang $-\pi$ sampai π , maka nilai ini masih menunjukkan *wrapped phase* yang berada pada *range* $-\pi$ sampai π . Namun pada kasus lain juga ditemukan nilai *wrapped phase* yang mengandung loncatan mencapai 2π ($2\pi \text{ jumps}$), lihat Gambar 2.7-b.



Gambar 2. 7 *Continuous Phase* $[-\pi, \pi]$ (a) dan *Wrapped Phase* ($2\pi \text{ Jumps}$) (b) (Gdeisat & Lilley, 2018)

Lihat Gambar 2.8-a, ketika ditemukan $2\pi \text{ jumps}$ pada suatu sinyal *wrapped phase*, maka ini harus dihapuskan tujuannya untuk mengembalikan sinyal fase ke bentuk kontinu sehingga nilai fase dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Proses penghapusan (Gambar 2.8-b,c,d) ini dinamakan dengan *phase unwrapping*. Ini akan mengembalikan sinyal *wrapped phase* kedalam bentuk *phase unwrapped* yang bebas dari $2\pi \text{ jumps}$ (Gambar 2.8-e).



Gambar 2. 8 *Wrapped Phase* (a), *Proses Phase unwrapping* (b, c, dan d), *Unwrapped Phase* (e) (Gdeisat & Lilley, 2018)

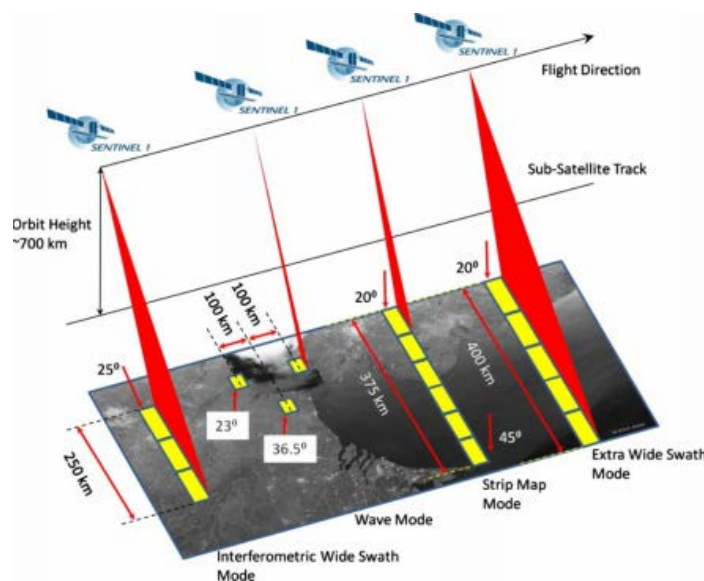
2.8 Sentinel-1

Peluncuran satelit Sentinel-1 merupakan keberlanjutan dari misi ERS-1/2 dan ENVISAT dengan membawa *band C* ($\lambda=5,6$ cm) dan frekuensi pusat 5,405 GHz (ESA, 2014a). Sentinel-1A dapat melakukan pencitraan pada siang dan malam serta tidak tergantung cuaca. Sentinel-1 mengorbit pada ketinggian 693 km, dengan sudut inklinasi 98.18° , dan *incidence angle* $20^\circ-45^\circ$. Satelit ini melakukan pengamatan dengan *single polarisation* (HH & VV) dan *double polarisation* (HV&VH). Sentinel-1 (Level 1.0) menawarkan pengamatan dengan 4 *mode* (lihat Tabel 2.3 dan Gambar 2.9), berikut perbedaan masing-masing resolusi spasial dan luas citra (*swath width*) pada tiap mode pengamatan (ESA, 2013):

Tabel 2. 3 Resolusi Citra Sentinel-1A Level 1.0 (SLC)

<i>Mode</i>	<i>Swath Width</i>	<i>Resolution rg x az</i>	<i>Pixel Spacing rg x az</i>	<i>Number of Looks</i>	<i>ENL</i>
Stripmap (SM)	80 km	1,7 x 4,3 m to 3,6 x 4,9	1,5 x 3,6 m to 3,1 x 4,1 m	1 x 1	1
Interferometric Wide (IW)	250 km	2,7 x 22 m to 3,5 x 22 m	2,3 x 14,1 m	1 x 1	1
Extra Wide (EW)	400 km	7,9 x 43 to 1,5 x 43 m	5,9 x 19,9 m	1 x 1	1
Wave (WV)	20 km	2,0 x 4,8 m and 3,1 x 4,8 m	1,7 x 4,1 m and 2,7 x 4,1 m	1 x 1	1

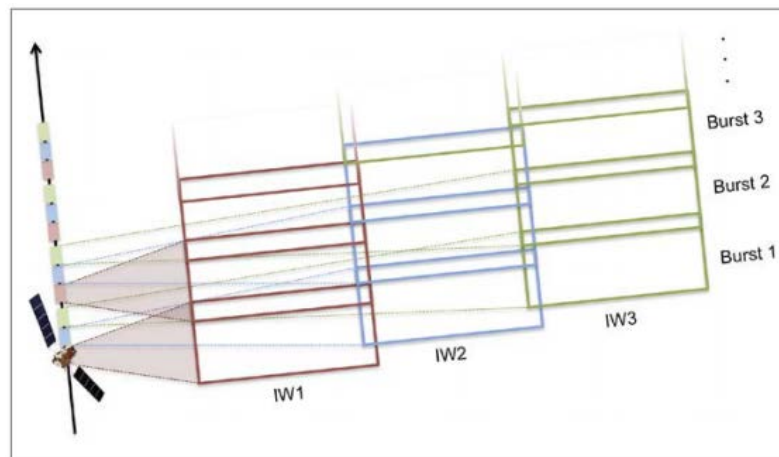
Sumber: Potin (2017)



Gambar 2. 9 Sentinel-1A Product Mode (ESA, 2013)

Interferometric Wide (IW) merupakan jenis pengamatan permukaan tanah standar milik Sentinel-1 yang cocok digunakan untuk aplikasi interferometri. Dengan luas sapuan dan resolusi spasial yang dimiliki oleh *IW mode*, secara khusus ini dapat mendukung operasional yang berhubungan dengan pengamatan permukaan bumi secara rutin (Sowter, et al., 2016). Sentinel-1A *IW mode* diperoleh menggunakan operasi *Terrain Observation with Progressive Scans in azimuth (TOPS)* (Holzner & Bamler, 2002). Citra TOPS SAR terdiri dari 3 *overlapping sub-swath* (IW1, IW2, dan IW3) dengan jarak overlap ± 2 km dan

pada tiap *sub-swath* dibentuk dari beberapa bagian yang sedikit bertampalan/*overlapping* atau yang disebut dengan *burst* (lihat Gambar 2.10).



Gambar 2. 10 Ilustrasi Pencitraan Sentinel-1 TOPS (Haghighi & Motagh, 2017)

Tabel 2. 4 Karakteristik *Interferometric Wide (IW) Mode*

Karakteristik	Nilai
<i>Swath width</i>	250 km
<i>Incidence angle range</i>	29,1° - 46,0°
<i>Sub-swaths</i>	3 (IW1, IW2, IW3)
<i>Azimuth steering angle</i>	± 0,6°
<i>Azimuth and Range Looks</i>	Single
<i>Polarisation options</i>	Dual HH+HV, VV+VH Single HH, VV
<i>Maximum Noise Equivalent Sigma Zero (NESZ)</i>	-22 dB
<i>Radiometric Stability</i>	0,5 dB (3 $\hat{\epsilon}$)
<i>Radiometric Accuracy</i>	1 dB (3 $\hat{\epsilon}$)
<i>Phase Error</i>	5 \hat{a}

Sumber: ESA, 2000a

Tabel 2.5 *Off Nadir dan Incidence Angels untuk IW Mode*

Beam	IW1	IW2	IW3
<i>Off-nadir angles at min orbit altitude [°]</i>	27,53-32,48	32,38-36,96	36,87-40,40
<i>Incident angles at min orbit altitude [°]</i>	30,86-36,59	36,47-41,85	41,75-46,00
<i>Off-nadir angles at max orbit altitude [°]</i>	26,00-30,96	30,86-35,43	35,35-38,88
<i>Incident angles at max orbit altitude [°]</i>	29,16-34,89	34,77-40,15	40,04-44,28

Sumber: ESA, 2000a

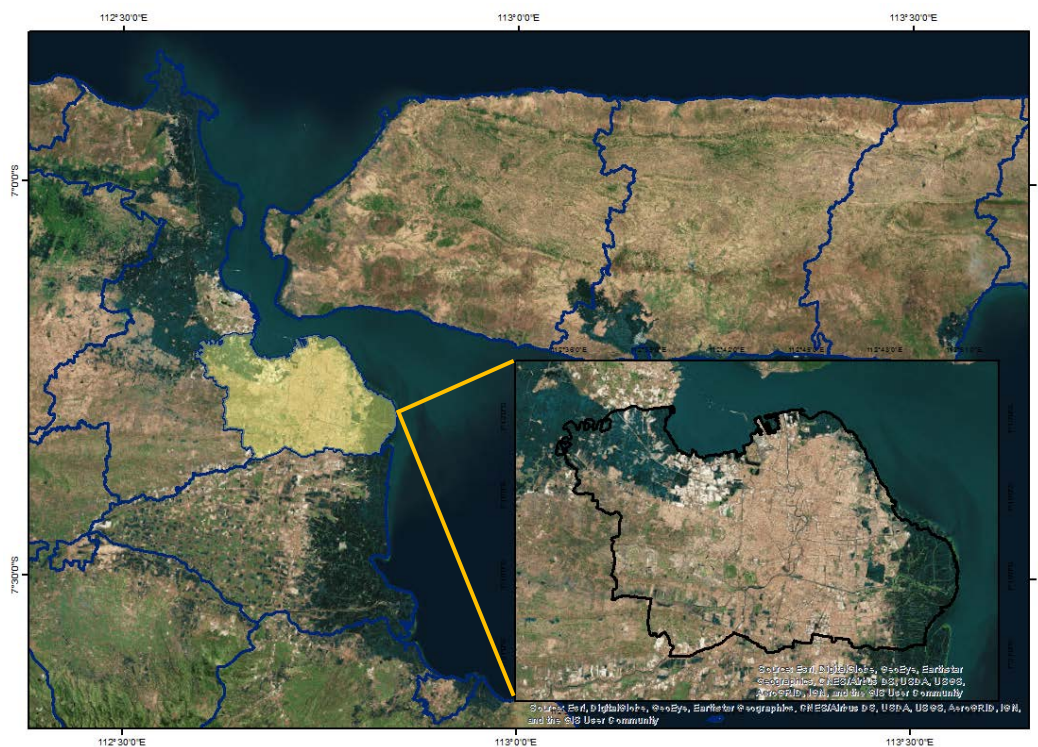
Sentinel-1A memiliki kelemahan yang berhubungan dengan kuat lemahnya interaksi panjang gelombang terhadap suatu objek (sensitifitas). Gelombang C ($\lambda=5,6$ cm) yang dibawa oleh Sentinel-1A hanya mampu berinteraksi dengan permukaan tanah jika objeknya merupakan tanah kering (*dry soil*), namun jika objeknya hutan, maka kemampuan interaksi gelombangnya hanya sampai pada batang pohonnya saja, tidak mampu menembus permukaan tanahnya (Rosen (2004) dalam Agram (2015)).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Kota Surabaya yang terletak di provinsi Jawa Timur. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada 07°09'00" - 07°21'00" LS dan 112°36'0" - 112°54'0" BT. Sebelah Utara berbatasan dengan Selat Madura, sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo, sebelah Timur berbatasan dengan Selat Madura, dan sebelah Barat berbatasan dengan kabupaten Gresik (lihat Gambar 3.1). Luas wilayah Kota Surabaya mencapai 326,36 km², terdiri dari 31 kecamatan dan 163 kelurahan (BPS Surabaya, 2017). Surabaya merupakan kota terbesar kedua setelah Jakarta, dengan jumlah penduduk sekitar ±2,8 juta jiwa. Pertumbuhan kota yang pesat meliputi pembangunan gedung-gedung tinggi dan pengembangan permukiman baru telah merubah Kota Surabaya ini menjadi lebih padat.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Citra Sentinel-1A (SLC) IW Mode

Digunakan 28 citra SAR Sentinel-1A IW SLC yang melintas secara *ascending* dari bulan Mei 2015 sampai dengan September 2017, lihat Tabel 4.1. Citra SLC (level 1) dapat diunduh secara gratis melalui pada website berikut ini:

- *Sentinel-1 Scientific Data Hub* : <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- *Alaska Satellite Facility* : <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>
- *Unavco* : <http://web-services.unavco.org/brokered/ssara/gui>.

Semua citra yang diolah dalam penelitian ini menggunakan polarisasi VV. Besar *incidence angle* pada IW mode bervariasi, dari 31° (*near range*) sampai 46° (*far range*).

b. DEM (*Digital Elevation Model*)

Data DEM yang digunakan yaitu SRTM1" dengan resolusi 30 meter, data ini di-*download* melalui website: <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/>

- c. Data geologi Kota Surabaya dan data sesar
- d. Data penggunaan air tanah
- e. Foto-foto kondisi lapangan untuk proses validasi

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). *Software* utama yang digunakan dalam proses pengolahan data adalah GMTSAR (Sandwell, et al., 2011) yang merupakan *open source software* yang beroperasi pada sistem operasi *Linux*, *software* ini digunakan untuk mengaplikasikan metode TS-InSAR (SBAS). Untuk *plotting* dan penyajian data SAR, digunakan *software* GMT (*Generic Mapping Tools*) yang juga merupakan *open source software* (Wessel & J, 2017). Selain itu dalam proses pengerjaan, penelitian ini juga menggunakan *software* lain seperti Google Earth dan *software* untuk konversi data.

3.3 Tahap Pengolahan SBAS Secara Umum

1. *DEM Conversion*

Dalam tahap pengolahan SBAS, DEM yang sebelumnya menggunakan sistem proyeksi WGS 84 harus dikonversikan terlebih dahulu kedalam sistem koordinat radar (dalam *range* dan *azimuth*).

2. *Corregistration*

Tujuan koregistrasi ada 2 yaitu untuk melakukan koregistrasi geometrik dengan menggunakan data DEM dan informasi orbit, dan megoreksi *residual shift* (sisa pergeseran) dalam *range* dan *azimuth* yang didapatkan dari data SAR. Pergeseran ini dapat disebabkan oleh ketidakakuratan orbit, kesalahan waktu, atau efek fisik (misalnya, troposfer atau pasang surut air laut). Koregistrasi memastikan bahwa setiap target/ permukaan tanah berkontribusi pada piksel (*range* dan *azimuth*) yang sama, baik master maupun *slave*.

Dalam teknik interferometri, sejumlah citra serta masing-masing informasi *precise orbit*-nya harus dikoregistrasikan menjadi satu tumpukan. Satu citra dipilih sebagai master dan lainnya sebagai *slave*. Dalam proses koregistrasi, piksel yang terdapat citra *slave* akan dicocokkan agar selaras dengan citra master sampai sub-akurasi piksel atau yang disebut juga sebagai proses *alignment*.

3. Pemilihan Pasangan Citra

Dalam pemasangan data harus mengoptimalkan jarak temporal dan jarak *baseline*. Konfigurasi pemasangan citra, khususnya pada penerapan metode SBAS didasarkan pada pemilihan *small baseline subset*, tiap *subset* kemungkinan terdiri dari satu citra master dan lebih dari satu citra *slave*.

4. *DInSAR Conventional*

Interferogram terbentuk dari proses *differential interferogram* (DInSAR). Interferogram dihasilkan dari 1 master dan 1 *slave* yang didalamnya mengandung 2 informasi yaitu amplitudo dan fase. Amplitudo dari 2 SAR selanjutnya dilipatgandakan, sedangkan kedua fase yang terkandung dalam interferogram menggambarkan perbedaan fase antara dua citra. Besar nilai perbedaan fase interferometri (ϕ) merupakan hasil perbandingan dari perubahan jarak (ΔR) terhadap panjang gelombang (λ) Karena interferogram

yang dihasilkan dari proses ini masih mengandung beberapa kontribusi kesalahan dan *speckle noise*, maka perlu dilakukan tahap selanjutnya yaitu *phase filtering* dan *flat-Earth and topography removal*.

5. *Pixel filtering*

Karena banyak ditemukannya *noise* berupa bintik-bintik seperti garam atau yang disebut *speckle noise* pada interferogram hasil pengolahan DInSAR Konvensional, maka untuk menguranginya dilakukan proses *pixel filtering*. Pada proses ini, *signal-to-noise ratio* dinaikkan untuk mendapatkan nilai *unwrapped phase* yang benar.

6. *Flat Earth Phase Removal*

Flat-Earth phase merupakan fase yang menunjukkan sinyal interferogram akibat kelengkungan permukaan bumi. *Flat-Earth phase* dapat diestimasi menggunakan data orbit and informasi metadata sehingga dapat mengurangi kontribusi *flat-Earth phase* yang terdapat pada interferogram.

7. *Topography Effect Removal*

Pada tahap ini dilakukan pendataran pada interferogram dengan cara menghapus kontribusi fase akibat topografi. Program akan mensimulasikan interferogram berdasarkan referensi DEM dan menguranginya pada saat interferogram terproses.

8. *Coherence Threshold*

Untuk mengurangi rendahnya koherensi, maka dapat dibatasi sesuai dengan *coherence threshold* yang diinginkan. Pada tahap ini, piksel yang memiliki koherensi lebih dari *coherence threshold* yang ditentukan akan dipilih sebagai kandidat *point scatterer*, sedangkan jika kurang dari itu akan dikeluarkan (*masked out*).

9. *Phase Unwrapping (PhU)*

Wrapped phase pada tiap interferogram bernilai modulo- 2π ($-\pi, \pi$), selanjutnya nilai ini harus melalui proses *unwrapping* untuk mendapatkan nilai *phase* yang sebenarnya. Pada proses *phase unwrapping*, dekorelasi atau *error* lain karena atmosferic, *look angle*, dan orbit satelit juga dihapuskan. Prosedur ini dijalankan menggunakan algoritma SNAPHU. Saat melakukan proses *unwrapping* pada interferogram, sistem memilih untuk tetap memproses fase

yang dianggap *noise (phase noisy)*, sehingga semua piksel akan dilakukan *unwrapping*, bahkan yang tidak berkorelasi, karena memiliki potensi untuk menunjukkan kesalahan fase tambahan. Namun, sinyal dalam piksel yang tidak berkorelasi nantinya akan dihapuskan dalam analisis *time-series*. Setelah proses ini selesai maka dihasilkan 74 pasang interferogram yang telah ter-*unwrapped* dimana menunjukkan besar *displacement* di sepanjang *LoS* dalam satuan metrik.

10. SBAS Algorithm Processing

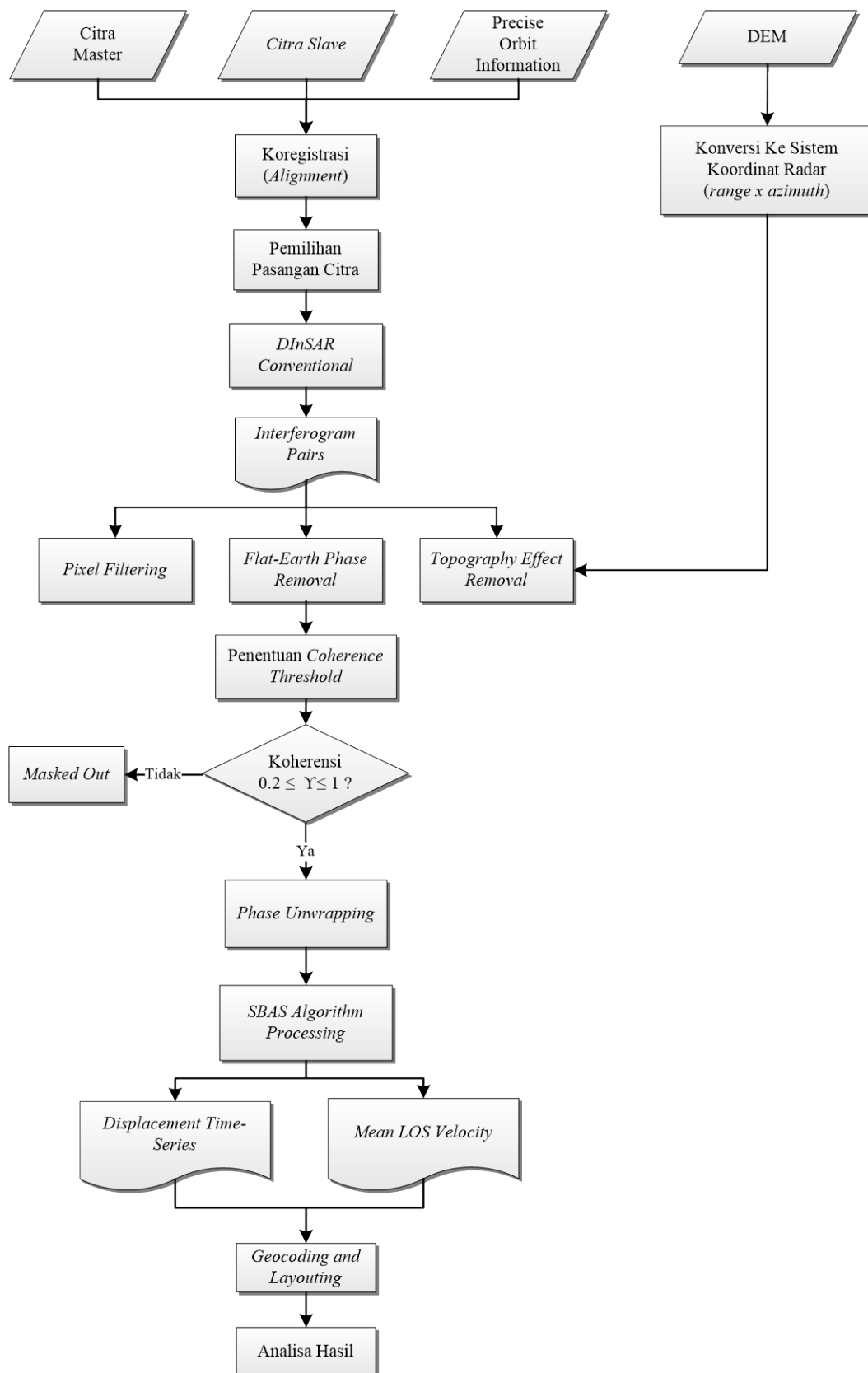
Pada tahap ini, seluruh urutan interferogram kembali diproses melalui prosedur SBAS yang diterapkan berdasarkan algoritma *least square inversion* oleh Tong & Schimdt (2016), hasilnya berupa urutan perubahan *displacement* atau *displacement time-series* (mm) dan nilai *mean LoS velocity* (mm/th).

11. Geocoding dan Layouting

Setelah proses SBAS berhasil dilakukan, maka dilakukan *geocoding (longitude and longitude)* untuk memudahkan penyajian data, sedangkan *layouting* dalam bentuk peta juga ditampilkan sebagai tampilan analisa.

12. Analisa Hasil

Melakukan analisa deformasi dan dikaitkan dengan kondisi lapangan, penelitian terdahulu, atau berdasarkan data validasi yang telah dikumpulkan



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan SBAS Secara Umum

3.4 Tahap Pengolahan SBAS Menggunakan GMTSAR

- **Pre-processing**

Tahap *pre-processing* merupakan tahap awal persiapan sebelum proses pembuatan interferogram dilakukan, berikut tahapan-tahapan *pre-processing* yang dilakukan pada *software* GMTSAR:

1. *Geographic to Radar Coordinates Conversion*

Melakukan konversi pada setiap titik dipermukaan bumi (lintang, bujur, dan topografi) pada data DEM ke dalam koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Informasi ketepatan orbit (*precise orbital information*) digunakan pada tahap ini untuk menentukan jarak dari satelit dengan menjalankan *command* “*dem2topo_ra.csh*”

2. *Image Alignment dan Baseline-time Plots*

Tahap awal *pre-processing* adalah melakukan *alignment* pada semua tumpukan citra SAR tujuannya untuk mencocokkan piksel yang terdapat citra *slave* dengan piksel pada citra master ke sub-akurasi piksel (*alignment*). Data yang dibutuhkan pada tahap ini adalah data citra beserta masing-masing informasi *precise orbitnya*. *Command* yang dijalankan pada tahap ini adalah “*preproc_batch_tops.csh*,” ini hanya dikhususkan untuk Sentinel-1 TOPS *mode*. Berikut susunan *command* yang digunakan:

```
preproc_batch_tops.csh data.in dem.grd mode
```

Adapun format pada “*data.in*” ini terdiri dari:

```
"image_name:orbit_name"  
s1a-iw1-slc-vv-20160612t104954-20160612t105011-011676-011e1b-  
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160702T121533_V20160611T225943  
_20160613T005943.EOF (baris pertama merupakan master)  
.  
.  
s1a-iw1-slc-vv-20170911t104950-20170911t105018-018326-01ed66-  
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20171001T121522_V20170910T225942  
_20170912T005942.EOF (slave)
```

Pada tahap ini, *command* diatas dijalankan dua kali dengan menggunakan *mode 1* dan *mode 2*.

- *mode 1* digunakan untuk melakukan *precise geometric alignment* (pencocokan geometric secara tepat), hasilnya berupa posisi dan tanggal perekaman 28 citra SAR dalam format *postscript (baseline.ps)*, sedangkan besar *baseline-time* tersimpan dalam file "*baseline_table.dat*"
- *mode 2* digunakan agar semua citra secara geometrik konsisten terhadap satu citra yang berperan sebagai super master dengan cara memproses tumpukan data SAR menggunakan parameter yang seragam (*earth radius, Doppler centroid, near range*), hasilnya *output*-nya terdiri dari *.PRM *.LED *.SLC.

Dari 28 citra, citra tanggal 12 Juni 2016 dipilih sebagai citra super master, sedangkan 27 citra lainnya berperan sebagai *slave*. Secara geometrik, 27 *slave* telah dicocokkan atau *aligned* terhadap citra master. Citra master tanggal 12 Juni 2016 dipilih karena sebaran posisi *platform*-nya berada di tengah diantara citra lainnya sehingga diharapkan dapat berkorelasi dengan 27 citra lainnya.

3. Data Pair Selection

Konfigurasi pemasangan citra dipersiapkan terlebih dahulu sebelum pembuatan interferogram di dalam file "*intf.in*" secara urut. Dalam pemasangan data, penelitian ini mengoptimalkan jarak temporal tidak lebih dari 3 bulan dan jarak *baseline* tidak lebih dari 100 m didapatkan. Hasilnya, didapatkan 74 pasangan citra yang terdiri dari 27 subset (27 citra berperan sebagai master sekaligus *slave*, sedangkan 1 citra hanya berperan sebagai *slave*). Berikut urutan pasangan citra yang telah dicantumkan pada file "*intf.in*" dimana pada setiap pasang terdiri dari citra master dan *slave*:

```
S1A20150525_ALL_F1:S1A20150618_ALL_F1 (1st pair)
S1A20150525_ALL_F1:S1A20150712_ALL_F1 (2nd pair)
.
.
.
S1A20170818_ALL_F1:S1A20170911_ALL_F1 (74th pair)
```


4. Penentuan *Filter Wavelength* dan *Coherence Threshold*

Batas parameter *filter wavelength* yang digunakan adalah 100 untuk meningkatkan visibilitas pada *fringes*. Proses *pixel filtering* ini dilakukan dengan menjalankan *command* “*filter.csh.*” Sedangkan *coherence threshold* atau *threshold snaphu* ditentukan dalam tahap *phase unwrapping* sebesar 0,2, artinya nilai lebih dari 0,2 dipertimbangkan sebagai *candidate scatterers* dan nilai kurang dari 0,2 (*bad pixels*) akan *dimasked out* (Mellors, 2013). Kedua parameter tersebut dapat ditentukan dengan memodifikasi file “*batch_tops.config file*” seperti berikut ini.

```
#####  
# parameters for make and filter interferograms #  
# - intf.csh #  
# - filter.csh #  
#####  
  
# filters  
# look at the filter/ folder to choose other filters  
filter_wavelength = 100  
  
#####  
# parameters for unwrap phase #  
# - snaphu.csh #  
#####  
# correlation threshold for snaphu.csh (0~1)  
# set it to be 0 to skip unwrapping.  
threshold_snaphu = 0.2
```

• **Processing (*Interferogram Generation*)**

Pada tahap ini dilakukan pembuatan interferogram sejumlah pasangan data yang telah ditentukan yaitu 74 interferogram dimana kemudian dilakukan proses *phase unwrapping* untuk mendapatkan besar *phase displacement*. Semua tahap yang berhasil diolah menggunakan DInSAR Konvensional ini menghasilkan 74 interferogram dan nilai *unwrapped-phase* yang tersimpan dalam folder *intf/*, folder ini terdiri dari:

- *Amplitude, phase, correlation, unwrapped phase, dan filtered phase* dalam format GMT/NetCDF “.*grd*”
- File-file yang telah dilakukan geocoding “_*ll.grd*”
- File-file *postscript plots* “.ps”
- File-file dalam format *.kml* dan *.png*

Berikut tahapan *processing* yang dilakukan pada software GMTSAR:

1. DInSAR Konvensional

Pembuatan interferogram dari 74 pasangan citra dilakukan dengan metode DInSAR konvensional, dimana setiap 2 pasangan citra diproses secara interferometri (digunakan DEM sebagai referensi elevasi). Untuk menghindari gangguan seperti *speckle noise* maka dilakukan proses *pixel filtering* dilakukan menggunakan algoritma filter Goldstein yang telah di modifikasi (*phasefilt*) (Goldstein and Werner 1997; Baran et al. 2003). Adapun langkah untuk mendapatkan interferogram yaitu dengan menjalankan *command* “*intf_tops.csh intf.in batch_tops.config.*”

2. *Phase Unwrapping*

Phase unwrapping adalah tahap terakhir dalam tahap *processing* dimana secara opsional perhitungan *unwrapped phase* dilakukan dengan menggunakan program SNAPHU (Chen and Zebker 2000). Proses *phase unwrapping* ini dilakukan dengan menjalankan *command* “*snaphu.csh.*”

• ***SBAS Processing***

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh kecepatan rata-rata *displacement* per tahun serta kumulatif *displacement* di sepanjang *LoS* pada bulan Mei 2015 sampai September 2017. Adapun yang dipersiapkan terlebih dahulu yaitu file script “*prep_proc_SBAS.csh.*” Kemudian menyusun “*data.tab*” yang berisi kumpulan nama tiap pasangan data, *filename* disesuaikan dengan folder yang terdapat pada direktori */intf_all*, berikut format susunannya:

```
2015144 2015168 (1st pair)
2015144 2015192 (2nd pair)
.
.
.
2017229 2017253 (74th pair)
```

Selanjutnya menjalankan *command* “*prep_proc_SBAS.csh data.tab 1*” untuk memperoleh 3 *output* yang terdiri dari *intf.tab*, *scene.tab*, serta *unwrap.grd* yang merupakan hasil *phase unwrapping*, ketiganya tersimpan dalam direktori */SBAS*.

- *intf.tab*: \$master \$slave \$BPR
- *scene.tab*: \$scene_id \$day

Kemudian dilanjutkan dengan *command* ke dua yaitu “*prep_proc_SBAS.csh data.tab 2*” untuk menjalankan proses SBAS sehingga didapatkan hasil akhir berupa *mean LoS velocity* (*vel_ll.grd*) dan *displacement time series* (*disp1.grd, disp2.grd,..., disp28.grd*). berikut beberapa *command* dan *script* yang dijalankan pada tahap ini:

```
#run SBAS
sbas intf.tab scene.tab $n_int $n_scn $xdim $ydim -smooth
1.0 -wavelength 0.0554658 -incidence 30 -range
800184.946186 -rms -dem

# project the velocity to Geocoordinates
ln -s ../topo/trans.dat .
proj_ra2ll.csh trans.dat vel.grd vel_ll.grd
gmt grd2cpt vel_ll.grd -T= -Z -Cjet > vel_ll.cpt
grd2kml.csh vel_ll vel_ll.cpt

# view disp.grd
rm *.jpg *.ps disp.tab
ls disp_0* > disp.tab

shopt -s extglob
IFS=" "
while read disp;
do
gambar="$disp".ps
gmt grdimage $disp -Cvel_ll.cpt -JX6i -Bx1000 -By250 -
BWeSn -P -K > $gambar
gmt psscale -D1.3c/-1.2c/5c/0.2h -Cvel_ll.cpt -B30:"LOS
displacement, mm":/:"range decrease": -P -J -O -X4 -Y20
>> $gambar

ps2raster $gambar -Tj -E100
#echo $disp
done < disp.tab
```

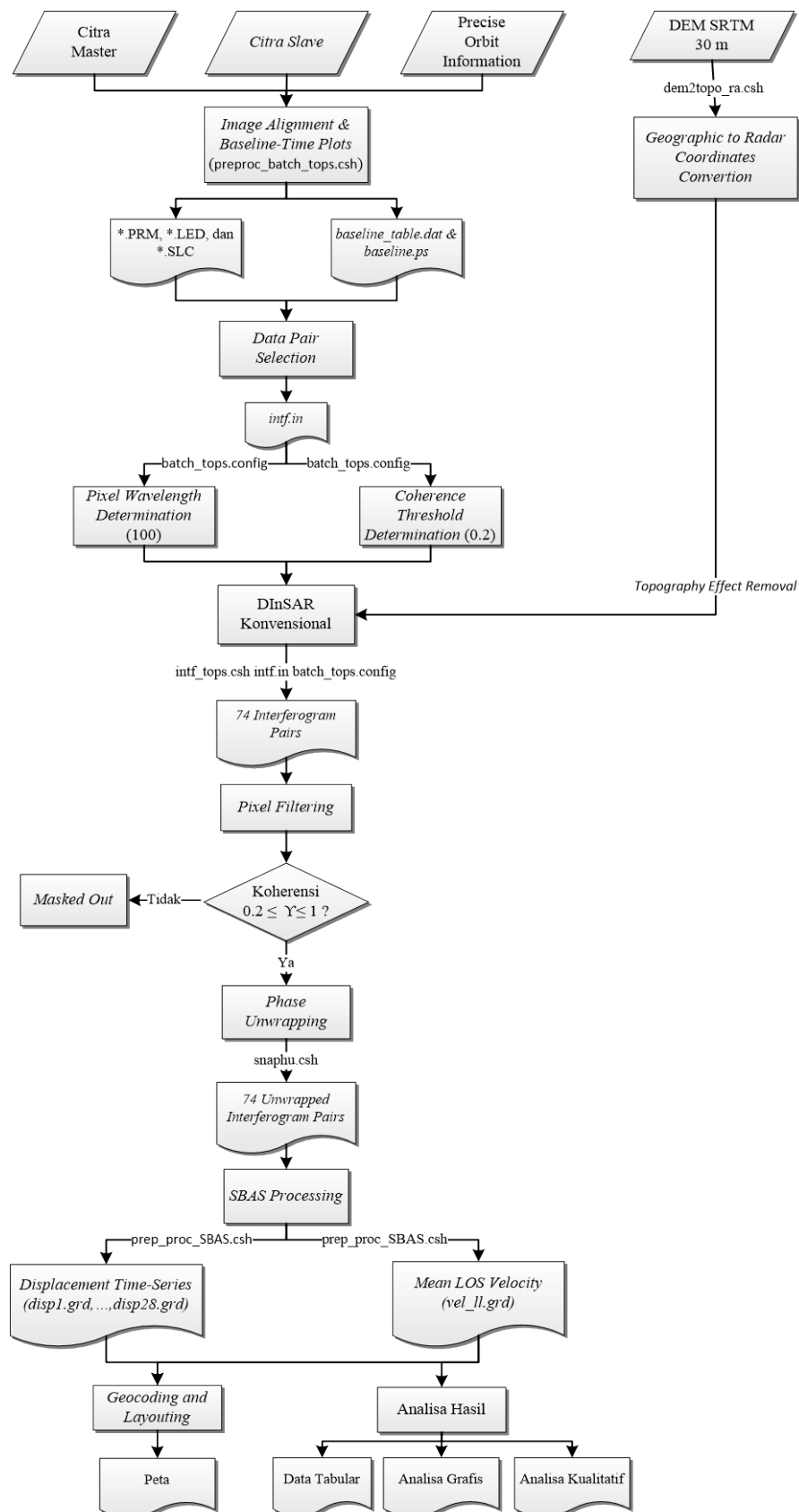
- ***Geocoding and Layouting***

Proses *geocoding* dilakukan untuk memastikan semua data yang berkoordinat *range* dan *azimuth* telah terkonversi ke dalam sisten koordinat geografis (lintang dan bujur). *Geocoding* dapat dilakukan dengan menjalankan *command* “*proj_ra2ll.csh*.” Sedangkan *layouting* dilakukan dengan menggunakan *GMT software*.

- **Analisa Hasil**

Analisa yang disajikan pada penelitian ini berupa analisa berdasarkan data tabular/ tabel, grafis, serta analisa kualitatif, adapun analisisnya sebagai berikut:

- Analisa *displacement time-series* di titik Asemrowo, Pantai Mentari, Mud Volcano, dan Gunung Anyar Tambak
- Analisa rata-rata kecepatan deformasi di 8 area yang secara signifikan mengalami *land subsidence*
- Analisa *land subsidence* hubungannya dengan kawasan permukiman
- Analisa *land subsidence* hubungannya dengan kawasan pergudangan dan industri
- Analisa *land subsidence* hubungannya dengan kondisi geologi Kota Surabaya
- Analisa *land subsidence* hubungannya dengan dua garis sesar yang melewati Kota Surabaya



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan SBAS dengan GMTSAR

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Penelitian ini memanfaatkan 28 citra Sentinel-1A (*IW1 mode*) yang mengover Kota Surabaya khususnya sejak bulan Mei 2015 sampai September 2017. Pemilihan citra Sentinel-1A dikarenakan ESA telah menyediakan data ketepatan orbit satelit (*precise orbit*), informasi ini dibutuhkan pada tahap pengolahan DInSAR (*focusing*) untuk meningkatkan akurasi geometrik citra, sedangkan DEM SRTM1" (resolusi 30 m) dipilih untuk menyesuaikan resolusi spasial citra Sentinel-1A yakni 20 m, diharapkan juga dapat memaksimalkan proses *topography effect removal*.

Hasil pengolahan dan analisa, baik hasil dari tahap pengolahan metode DInSAR maupun SBAS dijelaskan dalam bab ini dalam 3 sub bagian; 4.1 menunjukkan hasil pengolahan metode DInSAR konvensional yang terdiri dari; *baseline plot* dan konfigurasi pemilihan pasangan citra, *amplitude* dan *interferogram phase*, *phase filtered*, *removing topography* dan *phase unwrapping*, dan *LoS of Displacement*, 4.2 menunjukkan hasil pengolahan TS-InSAR (SBAS) berupa; estimasi *perpendicular* dan *temporal baseline*, nilai koherensi, *cumulative of time-series velocity*, kecepatan deformasi (*LoS velocity*), dan RMSE, sedangkan 4.3 menjelaskan analisa penurunan tanah hasil pengolahan metode SBAS yang terdiri dari; titik-titik yang mengalami penurunan tanah, penurunan tanah hubungannya dengan area permukiman, penurunan tanah hubungannya dengan kawasan industri dan pergudangan, dan deformasi hubungannya dengan kondisi geologi Kota Surabaya.

4.1 Hasil Pengolahan DInSAR Konvensional

Bab ini menjelaskan keseluruhan hasil pengolahan data citra Sentinel-1A yang terdiri dari; sebaran posisi *scene center* dari 28 citra berdasarkan *perpendicular* dan *temporal baseline (baseline plot)*, konfigurasi pemasangan interferogram, hasil *amplitude* dan *phase*, hasil *filtered phase*, hasil proses *removing topography*, hasil proses *phase unwrapping*, dan nilai *LoS of Displacement*. Informasi penting yang harus dipertimbangkan dalam melakukan

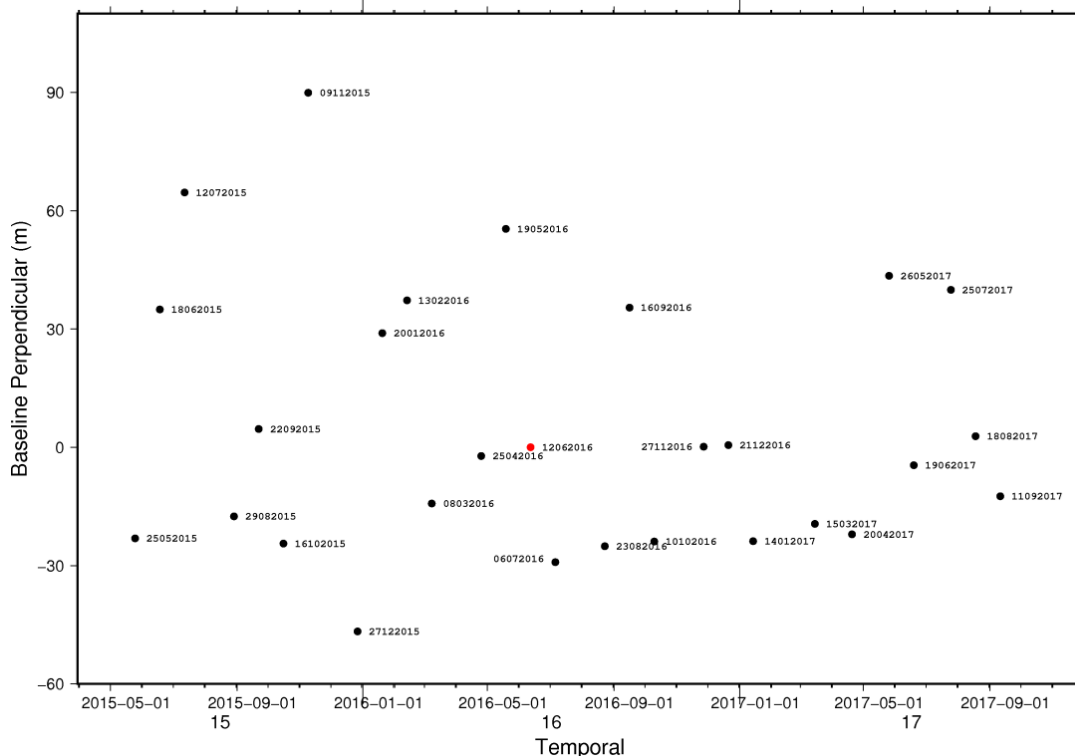
proses interferometri adalah nilai koherensi pada tiap pasangan citra yang juga dijelaskan pada sub bab ini. Semua hasil pengolahan DInSAR pada penelitian ini diikuti dengan proses *multilooking*, dengan *number of look* 5m x 1 m (*range* dan *azimuth*) serta resolusi piksel Sentinel-1W (SLC) sebesar 5 x 20 m sehingga diperoleh dimensi piksel sebesar 20 x 20 m.

4.1.1 *Baseline Plot* dan Konfigurasi Pemasangan Citra

Dengan mempertimbangkan *temporal* dan *perpendicular baseline*, distribusi posisi *baseline* dari 28 citra SAR disajikan sesuai dengan perannya masing-masing, satu citra sebagai master dan lainnya sebagai *slave*.

a. *Baseline Plot*

Gambar 4.1 menunjukkan distribusi posisi *scene center* pada masing-masing citra SAR berdasarkan *perpendicular* dan *temporal baseline*. Citra perekaman tanggal 12 Juni 2016 dipilih sebagai master, sedangkan 27 citra lainnya berperan sebagai *slave*. Adapun 27 citra *slave* ini telah dilakukan *alignment* (pencocokan) secara geometrik terhadap citra master.



Gambar 4. 1 *Baseline Plot*. Titik merah merupakan citra master, sedangkan titik hitam merupakan *slave*.

Berdasarkan sebaran distribusi citra SAR pada Gambar 4.1, letak citra master berada di tengah diantara semua sebaran data. Strategi ini dilakukan untuk memaksimalkan proses *alignment* dimana posisi semua citra mengacu pada satu master, dari dasar tersebut maka kunci pemikiran metode SBAS dapat dipertahankan. Besar estimasi *perpendicular* dan *temporal baseline* dari 27 citra yang mengacu pada citra master ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Jarak *perpendicular* terjauh terletak pada pasangan citra master tanggal 12 Juni 2016 dan citra slave tanggal 9 November 2015 yaitu sebesar 89 m. Sedangkan jarak *temporal* terjauh terletak diantara citra master tanggal 12 Juni 2016 dan citra *slave* tanggal 11 September 2017 yaitu 456 hari.

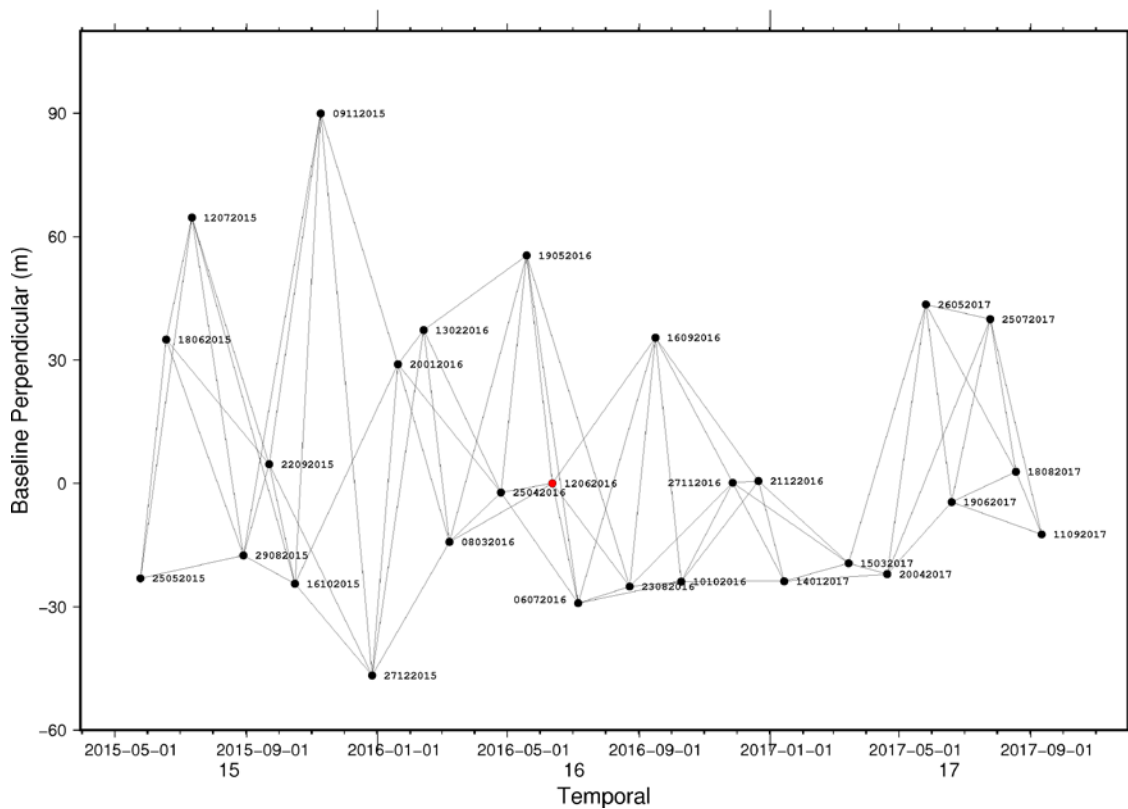
b. Konfigurasi Pemasangan Interferogram

Penelitian ini melakukan pemasangan data berdasarkan penerapan SBAS dengan memaksimalkan pemilihan *small baseline*. Dari 28 citra SAR, 27 citra berperan sebagai master dan *slave (multiple-master)*, sehingga didapatkan 74 pasangan citra. Gambar 4.2 menunjukkan konfigurasi 74 pasangan citra dan besar *perpendicular* dan *temporal baseline* pada masing masing-pasangan.

Penentuan strategi pemasangan interferogram direncanakan dengan *perpendicular baseline* ≤ 150 m dan *temporal baseline* ≤ 90 hari. Tabel 4.2 menunjukkan hitungan *perpendicular baseline* (m) dan *temporal baseline* dari 74 pasangan citra.

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

No.	<i>Acquisitions Time</i>	<i>Absolute Orbit</i>	<i>Perpendicular Baseline (m)</i>	<i>Temporal Baseline (jumlah hari)</i>
1	25-May-15	6076	-23,098	384
2	18-Jun-15	6426	34,95	360
3	12-Jul-15	6776	64,635	336
4	29-Aug-15	7476	-17,529	288
5	22-Sep-15	7826	4,634	264
6	16-Oct-15	8176	-24,431	240
7	9-Nov-15	8526	89,925	216
8	27-Dec-15	9226	-46,703	168
9	20-Jan-16	9576	28,941	144
10	13-Feb-16	9926	37,268	120
11	8-Mar-16	10276	-14,264	96
12	25-Apr-16	10976	-2,211	48
13	19-May-16	11326	55,402	24
14	12-Jun-16	11676	0	0
15	6-Jul-16	12026	-29,133	-24
16	23-Aug-16	12726	-25,098	-72
17	16-Sep-16	13076	35,430	-96
18	10-Oct-16	13426	-23,890	-120
19	27-Nov-16	14126	0,148	-168
20	21-Dec-16	14476	0,554	-192
21	14-Jan-17	14826	-23,817	-216
22	15-Mar-17	15701	-19,420	-276
23	20-Apr-17	16226	-22,078	-312
24	26-May-17	16751	43,488	-348
25	19-Jun-17	17101	-4,548	-372
26	25-Jul-17	17626	39,941	-408
27	18-Aug-17	17976	2,791	-432
28	11-Sep-17	18326	-12,416	-456



Gambar 4. 2 Sebaran Posisi *Center Point* dari 28 Citra SAR

Perpendicular baseline terjauh terdapat pada pasangan citra 20151109 dan 20151227 sejauh 135,73 m, sedangkan *temporal baseline* terjauh terdapat pada pasangan citra 20161127 dan 20170315 yang menunjukkan selisih 108 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 pada saat proses *alignment*.

Tabel 4. 2 Besar *Perpendicular* (m) dan *Temporal Baseline* (dalam jumlah hari) dari 74 Pasangan Citra

No	Pasangan Citra	Perpendicular Baseline (m)	Temporal Baseline (dalam jumlah hari)
1	20150525-20150618	57,602	24
2	20150525-20150712	87,557	48
3	20150525-20150829	5,098	96
4	20150618-20150712	29,955	24
5	20150618-20150829	-52,506	72
6	20150618-20150922	-29,826	96
7	20150712-20150829	-82,463	48
8	20150712-20150922	-59,782	72
9	20150712-20151016	-89,198	96
10	20150829-20150922	22,680	24
11	20150829-20151016	-6,735	48
12	20150829-20151109	107,512	72
13	20150922-20151016	-29,416	24
14	20150922-20151109	84,830	48
15	20150922-20151227	-50,906	96
16	20151016-20151109	114,242	24
17	20151016-20151227	-21,489	72
18	20151016-20160120	53,934	96
19	20151109-20151227	-135,729	48
20	20151109-20160120	-60,305	72
21	20151227-20160120	75,427	24
22	20151227-20160213	83,586	48
23	20151227-20160308	32,351	72
24	20160120-20160213	8,158	24
25	20160120-20160308	-43,076	48
26	20160120-20160425	-31,194	96
27	20160213-20160308	-51,235	24
28	20160213-20160425	-39,352	72
29	20160213-20160519	17,999	96
30	20160308-20160425	11,882	48
31	20160308-20160519	69,235	72
32	20160308-20160612	13,831	96
33	20160425-20160519	57,352	24
34	20160425-20160612	1,948	48
35	20160425-20160706	-27,186	72
36	20160519-20160612	-55,402	24
37	20160519-20160706	-84,538	48
38	20160519-20160823	-80,501	96
39	20160612-20160706	-29,135	24

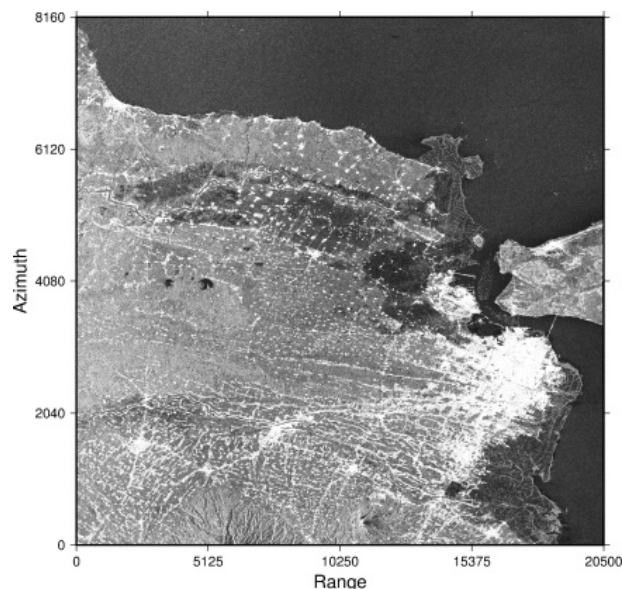
No	Pasangan Citra	Perpendicular Baseline (m)	Temporal Baseline (dalam jumlah hari)
40	20160612-20160823	-25,098	72
41	20160612-20160916	35,428	96
42	20160706-20160823	4,036	48
43	20160706-20160916	64,562	72
44	20160706-20161010	5,243	96
45	20160823-20160916	60,524	24
46	20160823-20161010	1,206	48
47	20160823-20161127	25,242	96
48	20160916-20161010	-59,318	24
49	20160916-20161127	-35,282	72
50	20160916-20161221	-34,874	96
51	20161010-20161127	24,035	48
52	20161010-20161221	24,443	72
53	20161010-20170114	0,069	96
54	20161127-20161221	0,407	24
55	20161127-20170114	-23,965	48
56	20161127-20170315	-18,374	108
57	20161221-20170114	-24,373	24
58	20161221-20170315	-18,782	84
59	20170114-20170315	5,598	60
60	20170114-20170420	1,332	96
61	20170315-20170420	-4,260	36
62	20170315-20170526	63,196	72
63	20170420-20170526	67,455	36
64	20170420-20170619	18,366	60
65	20170420-20170725	63,653	96
66	20170526-20170619	-49,086	24
67	20170526-20170725	-3,801	60
68	20170526-20170818	-41,874	84
69	20170619-20170725	45,287	36
70	20170619-20170818	7,212	60
71	20170619-20170911	-7,797	84
72	20170725-20170818	-38,074	24
73	20170725-20170911	-53,084	48
74	20170818-20170911	-15,011	24

4.1.2 Amplitude and Interferogram Phase

Setelah proses *alignment* dan *focusing*, maka dihasilkan produk citra *Single Look Complex* (SLC) atau level 1, secara geometrik berada pada arah *range* dan *azimuth*. SLC mengandung dua informasi penting yang terdiri dari *amplitude* dan *interferogram phase*.

a. Amplitude

Amplitude menggambarkan kekuatan sinyal balik radar atau *backscatterers*. Lihat Gambar 4.3, tampak terdapat dua perbedaan warna yaitu gelap dan terang, gelap menunjukkan sinyal lemah karena objek tersebut memiliki permukaan halus sehingga hanya sedikit sinyal balik yang ditangkap kembali oleh sensor radar, contohnya jalan dan badan air. Sedangkan permukaan kasar seperti bangunan, terlihat tampak terang/ putih, ini menunjukkan kuatnya sinyal balik yang diterima sensor radar.

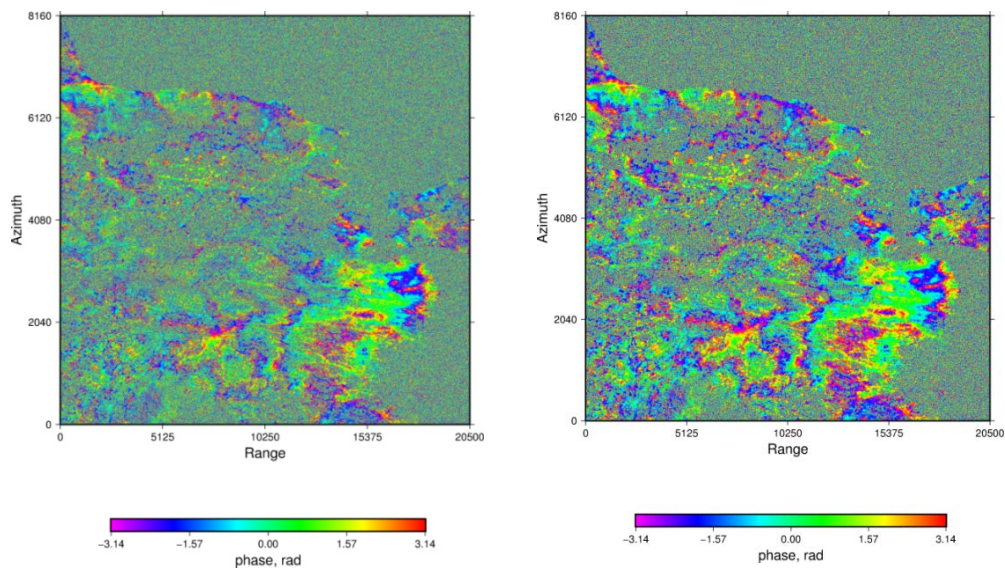


Gambar 4. 3 Amplitudo Pasangan Citra 20160519 dan 20160706

b. Interferogram Phase

Hasil pengolahan metode *differential interferometry* dapat disebut juga sebagai interferogram, *phase master* dan *slave*. Interferogram menunjukkan adanya perbedaan *phase* antara dua citra yang digambarkan dalam bentuk *fringes*. *Fringes* adalah oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik

dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh 2π ($-\pi$ sampai π). Dalam satu *fringes*, khususnya pada Sentinel-1A, mempresentasikan perubahan/ perpindahan sebesar 5,6 cm dari sensor radar. Gambar 4.4-a menunjukkan interferogram fase yang masih mengandung berbagai kontribusi nilai *phase* akibat *noise*, deformasi, penundaan sinyal di atmosfer, kesalahan orbit akibat *shift* (perpindahan), dan efek topografi.



Gambar 4. 4 *Interferogram Phase* (a) dan *Filtered Phase* (b) Pasangan Citra 20160519 dan 20160706

4.1.3 *Phase Filtered*

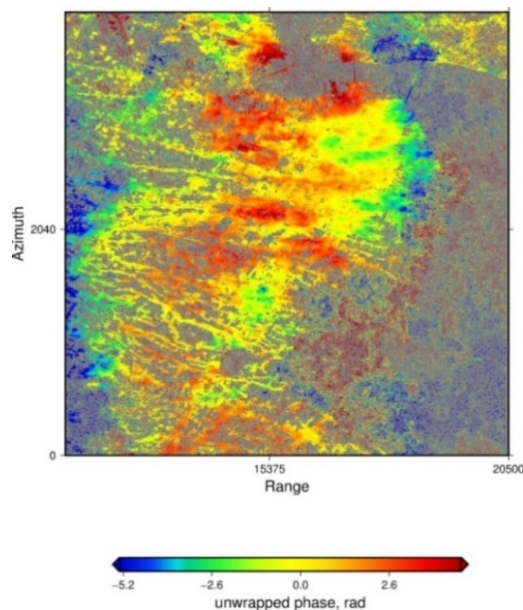
Untuk mengurangi kandungan *speckle noise* pada interferogram maka dilakukan *pixel filtering*. Dibandingkan dengan *phase* yang belum ter-*filtered* (Gambar 4.4-a), hasil *filtered phase* menunjukkan informasi piksel yang lebih halus (Gambar 4.4-b). Menurut Wegmuller, et al (2006) dengan menggunakan *spatial* atau *temporal filtering*, maka efek *noise* secara kuat dapat diminimalisir.

4.1.4 *Topography Removing* dan *Phase Unwrapping*

Tujuan *topography removing* adalah untuk mengurangi kontribusi fase akibat topografi berdasarkan DEM, penelitian ini menggunakan SRTM1" sebagai data acuan topografinya. Sedangkan *phase filtering* bertujuan untuk mengurangi *spatial-aliasing* (piksel yang tak terdefinisi) pada kasus deformasi tingkat tinggi.

Kontribusi nilai fase baik akibat topografi maupun karena perubahan permukaan (deformasi) yang terkandung dalam interferogram harus melalui proses *unwrapping* untuk memperoleh kembali sinyal fase yang sebelumnya berupa ambiguitas (*phase wrapped*) serta memudahkan analisis selanjutnya. Melalui *software* GMTSAR, program SNAPHU dapat dijalankan berdasarkan *statistical cost network-flow algorithm* (Chen & Zebker, 2000). Dalam prosesnya, dilakukan pengurangan nilai variasi fase (2π jumps) akibat *flat earth phase* terlebih dahulu. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai *unwrapped phase* akibat deformasi, maka nilai variasi fase (2π jumps) yang diakibatkan oleh topografi juga dihapuskan, hasilnya menyisakan *unwrapped phase* dalam satuan radian, lihat Gambar 4.6.

Unwrapped phase adalah perhitungan deformasi dari pengamatan satelit. Nilai negatif (-) menunjukkan *uplift*, artinya sinyal menuju sensor radar atau jarak berkurang, sedangkan nilai positif (+) menunjukkan *subsidence*, artinya sinyal menjauhi sinyal atau jarak bertambah.

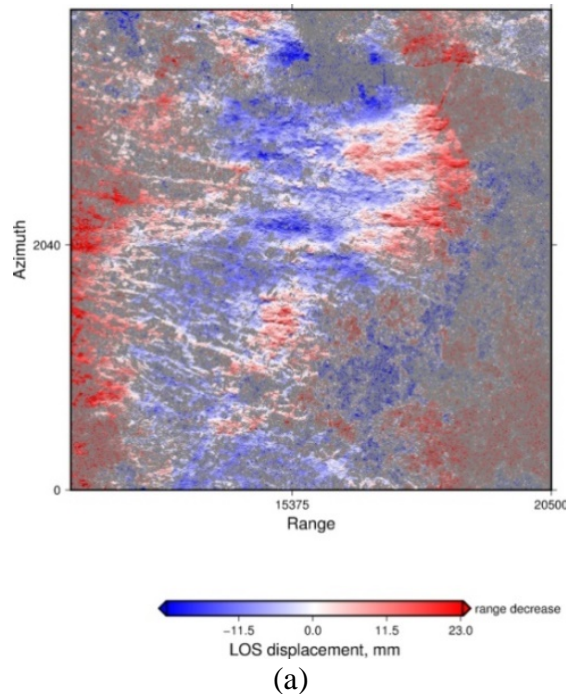


Gambar 4. 5 *Unwrapped Phase* Pasangan Citra 20160519 dan 20160706

4.1.5 *LoS Displacement*

Setelah proses *phase unwrapping*, maka didapatkan nilai *LoS displacement*. Nilai ini menunjukkan besar deformasi vertikal satu dimensi di sepanjang *LoS of Displacement* (lihat Gambar 4.6). Dapat dikatakan satu dimensi

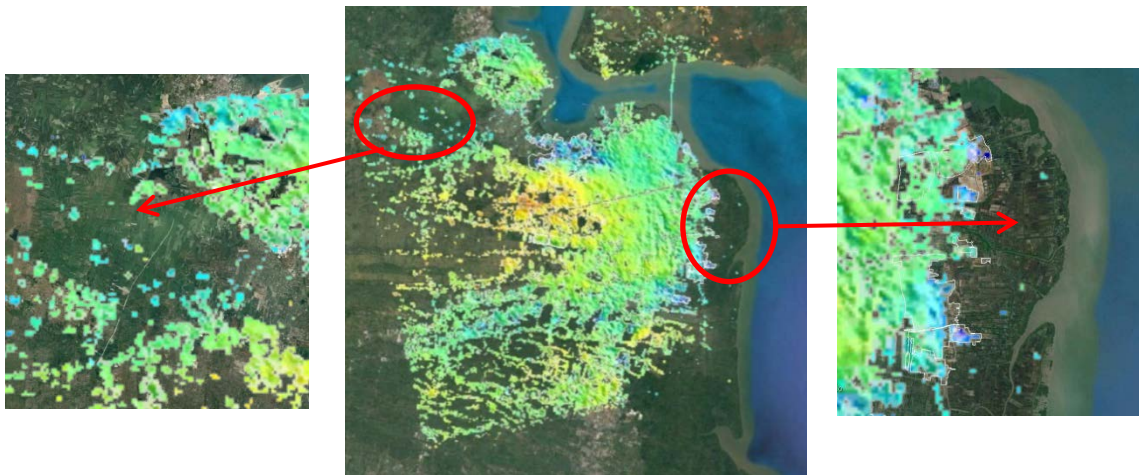
karena besarnya energi yang dipancarkan oleh suatu objek tertentu akan dikembalikan hanya dengan satu *scatterer* dalam satu pixel, dimana terhubung langsung dengan objek seperti singkapan batuan ataupun objek buatan manusia seperti bangunan, tower, dan tiang listrik di area perkotaan (Ferretti, et al., 2000; Ferretti, et al., 2001; Kampes, 2005; Lyons & Sandwell, 2003).



(a)
Gambar 4. 6 *LoS of Displacement* dalam *Range* dan *Azimuth* Pasangan Citra 20160519 dan 20160706. Warna biru menunjukkan *land subsidence* (-) dan merah menunjukkan *land uplift* (+).

4.1.6 Nilai Koherensi

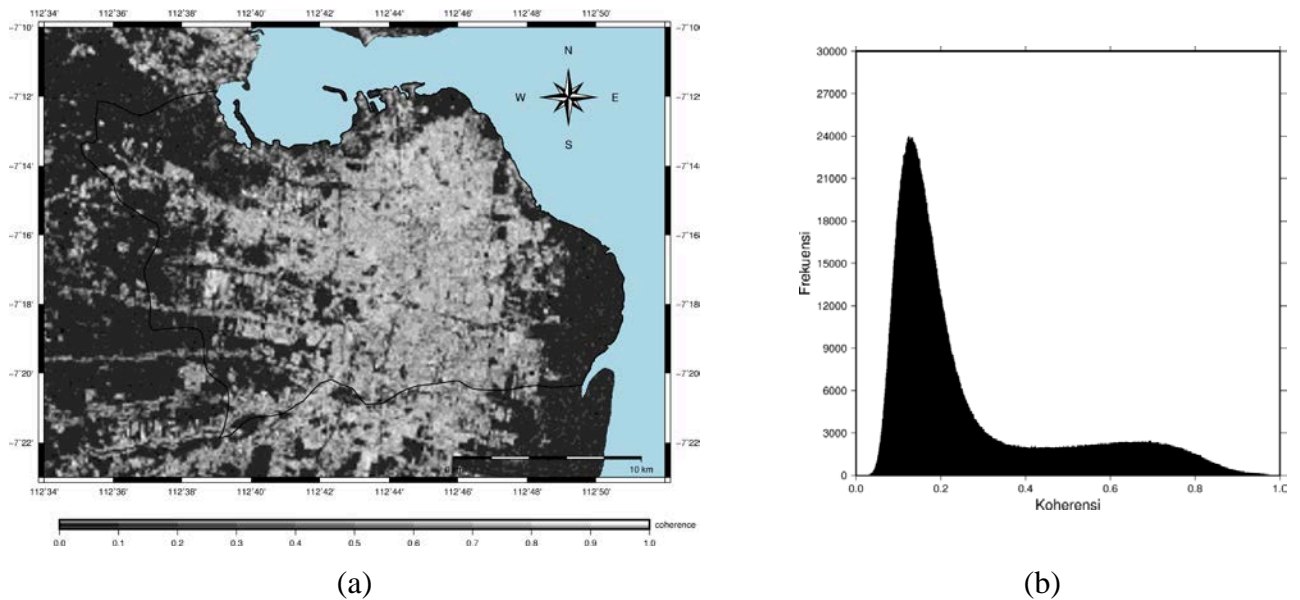
Koherensi menunjukkan sejauh mana kemiripan tiap piksel antara citra master dan *slave* dengan nilai antara 0 sampai 1. Hilangnya atau kosongnya data pada beberapa piksel (koherensi nol) disebabkan oleh dekorelasi temporal sehingga nilai koherensi menurun. Gambar 4.7 menunjukkan beberapa area yang tidak memiliki informasi piksel karena rendahnya nilai koherensi akibat dekorelasi temporal.



Gambar 4. 7 Kosongnya Piksel (*Low Coherence*)

Salah satu contoh koherensi rendah (nol) 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 *time series* serta dapat menurunkan nilai koherensi, kondisi ini terjadi di sekitar Kecamatan Benowo yang lokasinya berada di sebuah sawah yang ditanami padi.

Gambar 4.8-a merupakan contoh nilai koherensi dari pasangan citra 20160519 dan 20160706 setelah dilakukan *cropping* dengan batas *range* 11000 sampai 20500 dan *azimuth* 0 sampai 4000. Area pegunungan dan vegetasi ditunjukkan dengan warna hitam atau gelap (koherensi rendah), sedangkan sebagian besar area perkotaan ditunjukkan dengan warnaputih atau terang (koherensi tinggi).



Gambar 4. 8 Koherensi Pasangan Citra 20160519 dan 20160706 (a) dan Grafik Frekuensi Nilai Koherensi (b)

Grafik pada Gambar 4.8-b menunjukkan hubungan antara nilai koherensi dan frekuensi, frekuensi tertinggi terdapat pada nilai koherensi 0,2. Tujuannya dalam menyeleksi atau meminimalisir rendahnya koherensi pada area studi, maka digunakan parameter *threshold coherence* sebesar 0,2 dimana piksel yang memiliki koherensi bawah 0,2 akan terhapus. Pemilihan 0,2 dilakukan untuk mempertahankan informasi *mean LoS Velocity*.

Banyaknya nilai koherensi kurang dari 0,2 yang muncul pada penelitian ini dimungkinkan akibat dari efek troposfer. Menurut Hanssen (2001), kondisi troposfer antara dua citra dapat mempengaruhi perubahan refraksi/ pembiasan sinyal sehingga dapat menurunkan nilai koherensi. Harris, et al (2016) menambahkan bahwa data yang diakuisisi pada siang hari memiliki pengaruh troposfer yang lebih besar jika dibandingkan dengan akuisisi data pada pagi hari atau petang, hal ini memicu banyaknya tutupan awan disiang hari serta pada kondisi ini kecepatan lintas gelombang akan semakin rendah dari kecepatan cahaya sehingga menyebabkan pemanjangan gelombang. Adapun citra yang digunakan pada penelitian ini adalah Sentinel-1A (*band-C*) dimana orbit melintas secara *ascending* pada siang hari (pk 10.00), sehingga ini berdampak pada rendahkan koherensi akibat meningkatkan gangguan troposfer (Harris, et al., 2016).

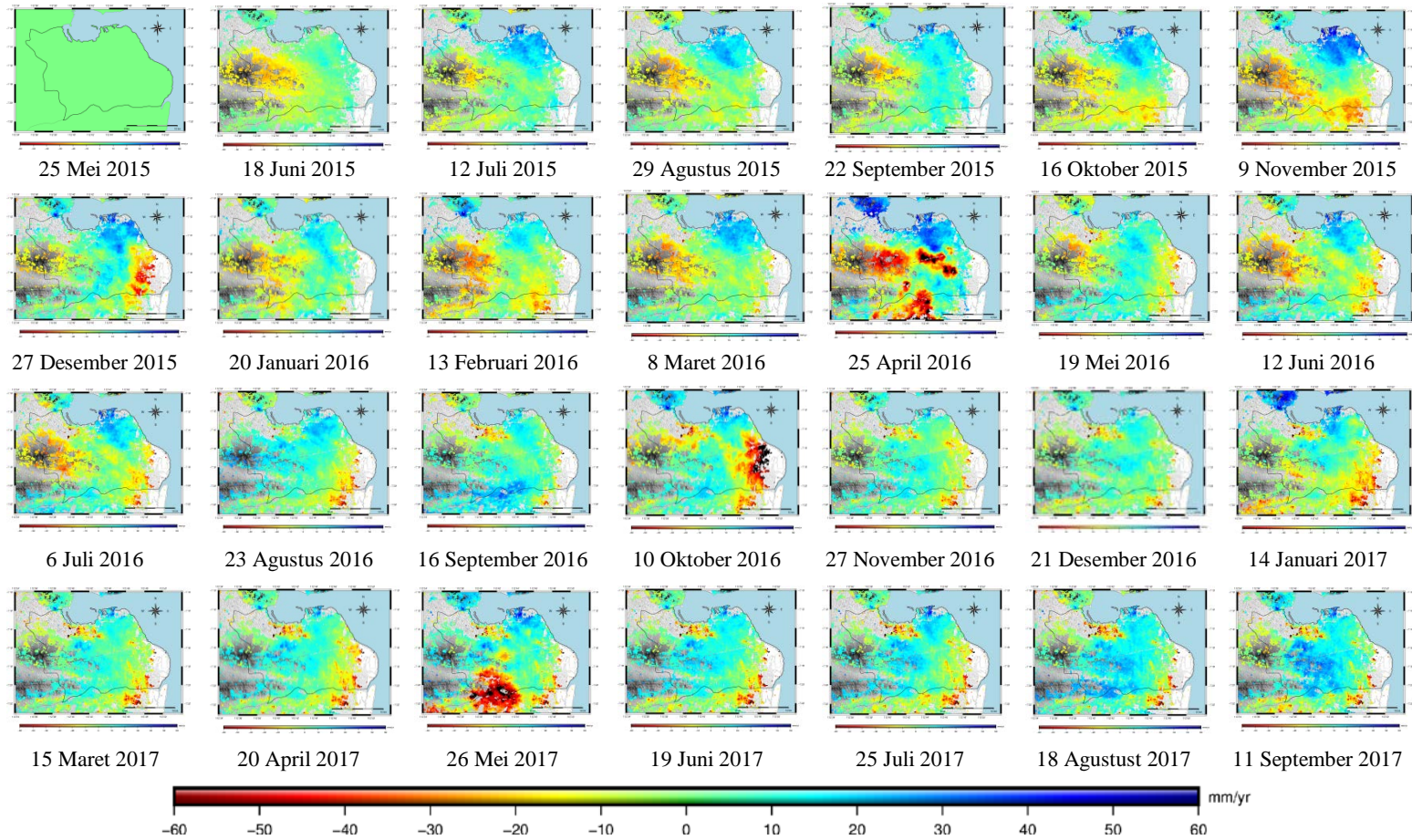
4.2 Analisa Hasil Pengolahan TS-InSAR (SBAS)

Bab ini akan menjelaskan analisis hasil *displacement time-series* menunjukkan perubahan deformasi dari 28 pengamatan pengamatan secara berurutan, rata-rata kecepatan deformasi per tahun (*mean LoS velocity*) dan besar estimasi ketidakcocokan grid yakni berupa data *RMS of the data misfit grids*.

4.2.1 *Displacement Time-Series*

Software GMTSAR menggunakan algoritma *Least Square* saat proses inversi (Schmidt & Burgmann, 2003) untuk mendapatkan *displacement time-series* ($disp1, disp2, disp3, \dots$) dalam millimeter. Gambar 4.9 menunjukkan besar perubahan secara *time-series* antara bulan Mei 2015 hingga September 2017. Dari 28 pengamatan, 3 pengamatan menunjukkan nilai signifikan (besar *subsidence* mencapai lebih dari 6 cm) yaitu pada bulan April 2016, Oktober 2016 dan Mei 2017, kemungkinan ini dikarenakan oleh besarnya kontribusi *noise* yang terkandung pada ketiga citra tersebut. Penelitian ini mengaitkan hasil LOS *displacement* bulan April 2016, Oktober 2016 dan Mei 2017 dengan kondisi suhu, kelembaban dan curah hujan harian yang direkam oleh BMKG di stasiun Perak I dan Juanda.

- Data tanggal 25 April 2016 dibandingkan dengan data BMKG di stasiun Perak I karena *displacement* secara signifikan terjadi di sekitar Surabaya Timur, hasilnya menunjukkan bahwa suhu maksimal pada tanggal 25 April 2016 mencapai $34,4^{\circ}$ (tinggi dalam kurun waktu bulan April 2016), dan kelembaban rata-rata 70%.
- Data tanggal 10 Oktober 2016 dibandingkan dengan data BMKG di stasiun Juanda karena *displacement* secara signifikan terjadi di sekitar Surabaya Pusat dan Surabaya Utara, hasilnya menunjukkan bahwa suhu maksimal pada tanggal 10 Oktober 2016 mencapai 31° , kelembaban rata-rata 88 % (tinggi dalam kurun waktu bulan Oktober 2016), dan curah hujan rata-rata 36 mm.
- Data tanggal 26 Mei 2017 dibandingkan dengan data BMKG di stasiun Juanda karena *displacement* secara signifikan terjadi di sebelah Timur Juanda, hasilnya menunjukkan bahwa suhu maksimal pada tanggal 26 Mei 2017 $32,9^{\circ}$ (tinggi dalam kurun waktu bulan Mei 2017) dan kelembaban rata-rata 80 %.

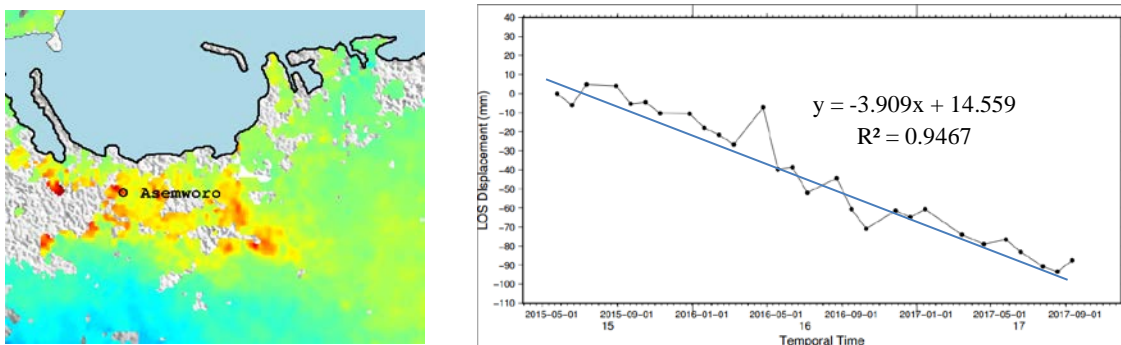


Gambar 4. 9 *Displacement Time-Series* antara Bulan Mei 2015 dan September 2017. Merah menunjukkan *land subsidence* (-), sedangkan biru menunjukkan *land uplift* (+).

Tujuannya dalam mengetahui deformasi vertikal secara *time-series* dan rata-rata kecepatan penurunan tanah per tahun, penelitian ini menyajikan hitungan yang disertai dengan persamaan regresi linier dan koefisien determinasi (R^2), sedangkan korelasi (r) dihitung berdasarkan persamaan *Pearson*. Pada sub bab ini, analisa hanya dilakukan pada 4 titik yang terletak di Asemrowo, Kenjeran, Gunung Lumpur, dan Gunung Anyar. Berikut ini adalah hasil hitungan dan analisa dari masing-masing titik sampel:

a. Titik Asemrowo ($112^{\circ}40'51,6''$ BT dan $7^{\circ}13'55,2''$ LS)

Dari hasil pengamatan bulan Mei 2015 sampai September 2017 menunjukkan bahwa nilai *LoS displacement* di titik Asemrowo antara +4,85 mm sampai dengan -93,49 mm (Gambar 4.10). Dari data *displacement time series* kemudian dilakukan analisa regresi untuk memperoleh kecepatan rata-rata penurunan tanah per tahun berdasarkan persamaan regresi dari 28 pengamatan dimana $y = -3,909x + 14,559$. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9467, ini menunjukkan bahwa 94,67% datanya terwakili oleh model regresi, artinya model regresi tersebut sangat baik untuk menggambarkan trend penurunan muka tanah di titik Asemrowo.



Gambar 4. 10 *Displacement Time-series* dan Regresi Linier di titik Asemrowo

Dengan menggunakan model regresi, selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan penurunan tanah di titik Asemrowo dan hasil yang diperoleh menunjukkan kecepatan penurunan sebesar 45,23 mm/th (Lihat Tabel 4.3).

Tabel 4. 3 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data *Displacement Time-Series* di Titik Kenjeran

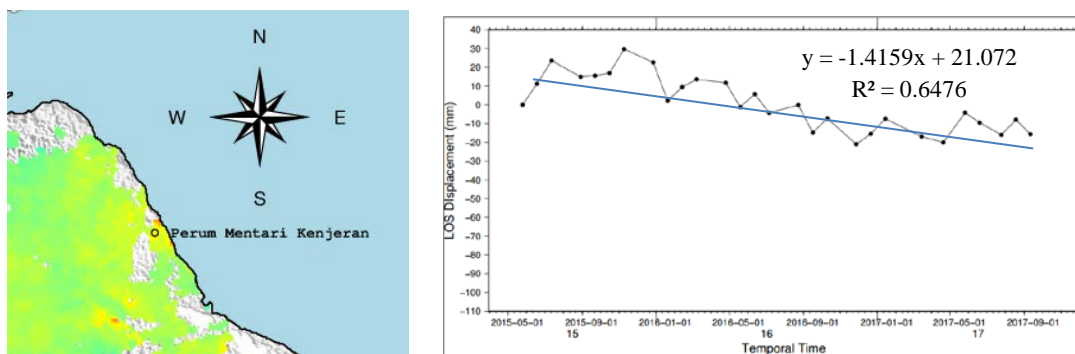
X	Y	<i>LoS Displacement</i> dari model regresi	
Waktu Pengamatan Ke-	<i>LoS Displacement</i> (mm)	$\hat{y} = a + bx$	$\hat{y} - y$
1	0,00		10,65
2	-6,07		6,74
3	4,85		2,83
4	4,03		-1,08
5	-5,39		-4,99
6	-4,46		-8,90
7	-10,36		-12,80
8	-10,55		-16,71
9	-17,94		-20,62
10	-21,64		-24,53
11	-26,66		-28,44
12	-7,19		-32,35
13	-39,71		-36,26
14	-38,75		-40,17
15	-52,03		-44,08
16	-44,39		-47,99
17	-60,71		-51,89
18	-70,91		-55,80
19	-61,48		-59,71
20	-64,92		-63,62
21	-60,70		-67,53
22	-74,01		-71,44
23	-79,01		-75,35
24	-76,60		-79,26
25	-83,11		-83,17
26	-90,72		-87,08
27	-93,49		-90,98
28	-87,52		-94,89
$\sum x = 378$ $\sum y = -1055,4$ $\sum xy = -377$ $\sum x^2 = 1416$			
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/bulan)			-3,77
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/tahun)			-45,23

Nilai kecepatan penurunan muka tanah (LoS) yang diperoleh dari model regresi diatas hanya berbeda 0,3 mm/th dari nilai *mean LoS velocity* hasil pengolahan SBAS berdasarkan 74 interferogram.

Tingkat penurunan tanah di kawasan ini menggambarkan bahwa kawasan Asemrowo berpotensi mengalami penurunan tanah. Kawasan ini merupakan area pergudangan dan industri, disamping kondisi geologinya aluvial, aktivitas di area pergudangan seperti padatnya lalu lintas kendaraan berat (truk) yang melintas di kawasan ini merupakan pemicu terjadinya penurunan tanah.

b. Titik Perum. Pantai Mentari Kenjeran ($112^{\circ}47'24''$ BT dan $7^{\circ}13'55,2''$ LS)

Dari hasil pengamatan bulan Mei 2015 sampai September 2017 menunjukkan bahwa nilai *LoS displacement* di titik Kenjeran antara +29,7 mm sampai dengan -21,03 mm (Gambar 4.11). Dari data *displacement time series* kemudian dilakukan analisa regresi untuk memperoleh kecepatan rata-rata penurunan tanah per tahun berdasarkan persamaan regresi dari 28 pengamatan dimana $U = F 1,4159T + 21,072$. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,64746 ini menunjukkan bahwa 64,67% datanya terwakili oleh model regresi, artinya model regresi tersebut sangat baik untuk menggambarkan trend penurunan muka tanah di titik Kenjeran.



Gambar 4. 11 *Displacement Time-series* dan Regresi Linier di titik Kenjeran

Dengan menggunakan model regresi, selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan penurunan tanah di titik Kenjeran dan hasil yang diperoleh menunjukkan kecepatan penurunan sebesar 16,38 mm/th (Lihat Tabel 4.4)

Tabel 4. 4 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data *Displacement Time-Series* di Titik Kenjeran

X Waktu Pengamatan Ke-	Y <i>LoS Displacement</i> (mm)	<i>LoS Displacement</i> dari model regresi	
		\hat{Y}_i	$\hat{Y}_i - Y_i$
1	0,00		19,66
2	11,23		18,24
3	23,52		16,82
4	14,93		15,41
5	15,51		13,99
6	16,98		12,58
7	29,70		11,16
8	22,62		9,74
9	2,23		8,33
10	9,43		6,91
11	13,56		5,50
12	11,71		4,08
13	-1,22		2,67
14	5,68		1,25
15	-4,27		-0,17
16	-0,13		-1,58
17	-14,78		-3,00
18	-7,28		-4,41
19	-21,03		-5,83
20	-15,50		-7,25
21	-7,42		-8,66
22	-16,92		-10,08
23	-20,07		-11,49
24	-4,18		-12,91
25	-9,50		-14,33
26	-16,03		-15,74
27	-7,92		-17,16
28	-15,71		-18,57
$\sum X = 28$			-38,23
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/bulan)			-1,37
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/tahun)			-16,38

Nilai kecepatan penurunan muka tanah (LoS) yang diperoleh dari model regresi diatas hanya berbeda 0,54 mm/th dari nilai *mean LoS velocity* hasil pengolahan SBAS berdasarkan 74 interferogram.

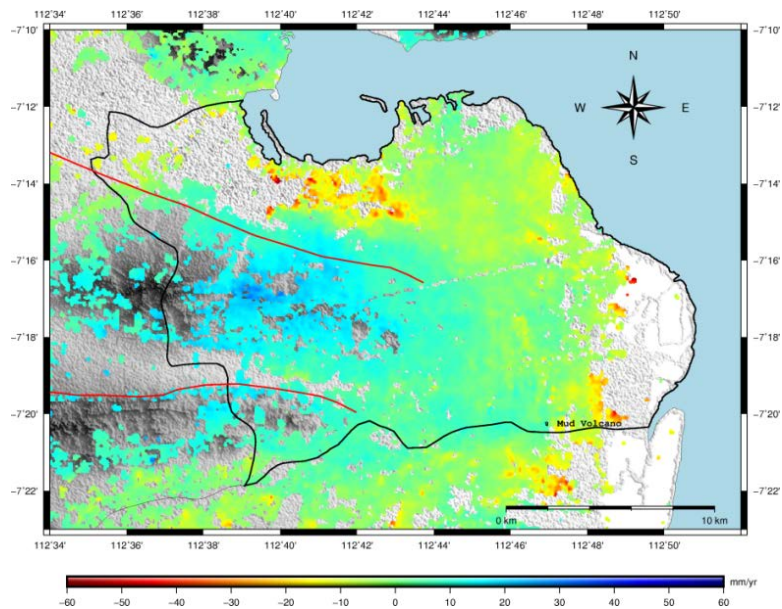
Berdasarkan tutupan lahannya, titik ini berada di Perumahan Pantai Mentari yang terdiri dari cluster-cluster, beberapa diantaranya dikembangkan sejak tahun 2014. Ketika melakukan *field check*, banyak ditemukan jalan (paving) yang mengalami kerusakan, seperti pada Gambar 4.12. Menurut sumber, ini dikarenakan oleh pembangunan jalan (paving) dilakukan terlebih dahulu sebelum rumah didirikan, akibatnya jalan terbebani oleh kendaraan berat yang melintas untuk mengangkut material.



Gambar 4. 12 Kondisi lapangan di Titik Perumahan Pantai Mentari Kenjeran

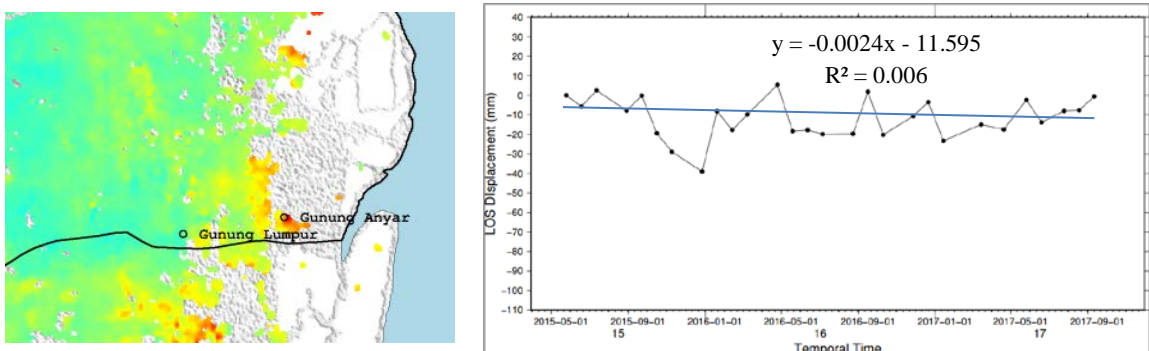
c. Titik Gunung Lumpur ($112^{\circ}46'54''$ BT dan $7^{\circ}20'14''$ LS)

Mud volcano di Gunung Anyar memiliki potensi bencana karena terletak pada permukiman padat penduduk (S & Santosa, 2016). Produksi lumpur yang tidak pernah berhenti ini dapat menyebabkan peninggian dataran, sehingga dapat membentuk gunung (Krisnayanti & Agustawijaya, 2014). Berdasarkan peta geologi, Kota Surabaya dilintasi oleh dua garis sesar yang dikenal dengan sesar Kendeng (lihat Gambar 4.13). Jika disambungkan ke arah Timur, maka akan segaris dengan *mud volcano* yang terletak di Kecamatan Gunung Anyar. Oleh karena itu, dapat dikatakan jika keberadaan *mud volcano* di Surabaya ini juga berkaitan dengan sesar Kendeng yang kemungkinan dalam kondisi aktif.



Gambar 4. 13 Peta Kecepatan Deformasi *Superimposed* dengan Sesar Kendeng dan Gunung Lumpur

Dari hasil pengamatan bulan Mei 2015 sampai September 2017 menunjukkan bahwa nilai *LoS displacement* di titik Asemrowo antara +10 mm sampai dengan -40 mm (Gambar 4.14). Dari data *displacement time series* kemudian dilakukan analisa regresi untuk memperoleh kecepatan rata-rata penurunan tanah per tahun berdasarkan persamaan regresi dari 28 pengamatan dimana $\text{U} = F 0.0024T F 11.595$. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) di titik ini sebesar 0.006, artinya tidak dapat mewakili model penurunan tanah karena kecilnya nilai koefisien determinasi.



Gambar 4. 14 *Displacement Time-series* dan Regresi Linier di titik Gunung Lumpur

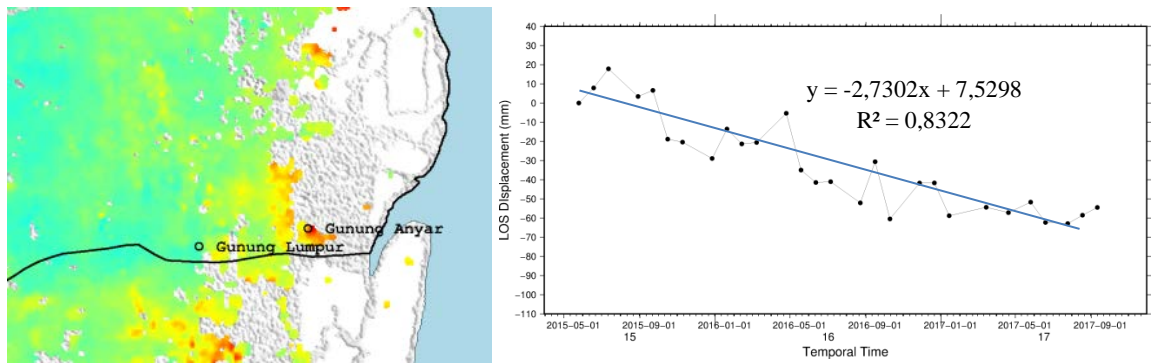
Kecilnya koefisien determinasi menunjukkan penurunan muka tanah di titik ini sangat bervariasi. Menurut penduduk setempat, kapan semburan kecil dan semburan besar terjadi ini tidak dapat ditentukan dan tidak dapat diprediksi. Ketika semburan lumpur keluar dalam jumlah besar, ini akan membanjiri jalan di sekitar permukiman penduduk, dampaknya banyak dijumpai amblesan di beberapa jalan di sekitar gumuk lumpur (Gambar 4.15).



Gambar 4. 15 Gunung Lumpur dan Kondisi Jalan Di Sekitarnya

d. Titik Gunung Anyar ($112^{\circ}48'39,6''$ BT dan $7^{\circ}19'55,2''$ LS)

Dari hasil pengamatan bulan Mei 2015 sampai September 2017 menunjukkan bahwa nilai *LoS displacement* di titik Gunung Anyar antara +17,84 mm sampai dengan -62,91 mm (Gambar 4.16). Dari data *displacement time series* kemudian dilakukan analisa regresi untuk memperoleh kecepatan rata-rata penurunan tanah per tahun berdasarkan persamaan regresi dari 28 pengamatan dimana $U = F 2,7302T + 7,5298$. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8322 ini menunjukkan bahwa 83,22% datanya terwakili oleh model regresi, artinya model regresi tersebut sangat baik untuk menggambarkan trend penurunan muka tanah di titik Gunung Anyar.



Gambar 4. 16 *Displacement Time-series* dan Regresi linier di titik Gunung Anyar

Dengan menggunakan model regresi, selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan penurunan tanah di titik Gunung Anyar dan hasil yang diperoleh menunjukkan kecepatan penurunan sebesar 31,59 mm/th (Lihat Tabel 4.5)

Tabel 4. 5 Perhitungan Kecepatan Penurunan Tanah Berdasarkan Data *Displacement Time-Series* di Titik Gunung Anyar

X	Y	LoS Displacement dari model regresi
Waktu Pengamatan Ke-	LoS Displacement (mm)	
1	0,00	4,7996
2	7,88	2,0694
3	17,84	-0,6608
4	3,43	-3,391
5	6,61	-6,1212
6	-18,84	-8,8514
7	-20,40	-11,5816
8	-28,92	-14,3118
9	-13,58	-17,042
10	-21,32	-19,7722
11	-20,57	-22,5024
12	-5,36	-25,2326
13	-34,97	-27,9628
14	-41,46	-30,693
15	-41,04	-33,4232
16	-52,11	-36,1534
17	-30,64	-38,8836
18	-60,48	-41,6138
19	-41,74	-44,344
20	-4169	-47,0742
21	-58,79	-49,8044
22	-54,39	-52,5346
23	-57,17	-55,2648
24	-51,70	-57,995
25	-62,30	-60,7252
26	-62,91	-63,4554
27	-58,52	-66,1856
28	-54,48	-68,9158
Σ X · Y = x · y (mm)		-73,72
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/bulan)		-2,63
Kecepatan Penurunan Muka Tanah (mm/tahun)		-31,59

Nilai kecepatan penurunan muka tanah (LoS) yang diperoleh dari model regresi diatas hanya berbeda 0,51 mm/th dari nilai *mean LoS velocity* hasil pengolahan SBAS berdasarkan 74 interferogram.

Kemungkinan penurunan muka tanah di area ini akibat dari proyek reklamasi secara besar-besaran dilakukan di kawasan Pantai Timur dan Utara Surabaya sejak tahun 2010 dimana 600 ha lahan telah dipetakan sebagai lahan reklamasi dan akan diuruk untuk dijadikan kawasan perumahan, vila, apartemen, serta mal. Rungkut dan Gunung Anyar Tambak merupakan kecamatan yang sebagian lahan konservasinya mulai terkikis habis akibat pengalihan fungsi lahan menjadi kawasan permukiman (Noviyanto, 2018). Pengalihan fungsi lahan tambak ditunjukkan pada Gambar 4.17 dimana pada tahun 2018 area tambak telah berkurang karena pengurukan. Sebelum menjadi kawasan *real estate*, kawasan ini merupakan lahan tambak namun berubah karena kebutuhan tempat tinggal.

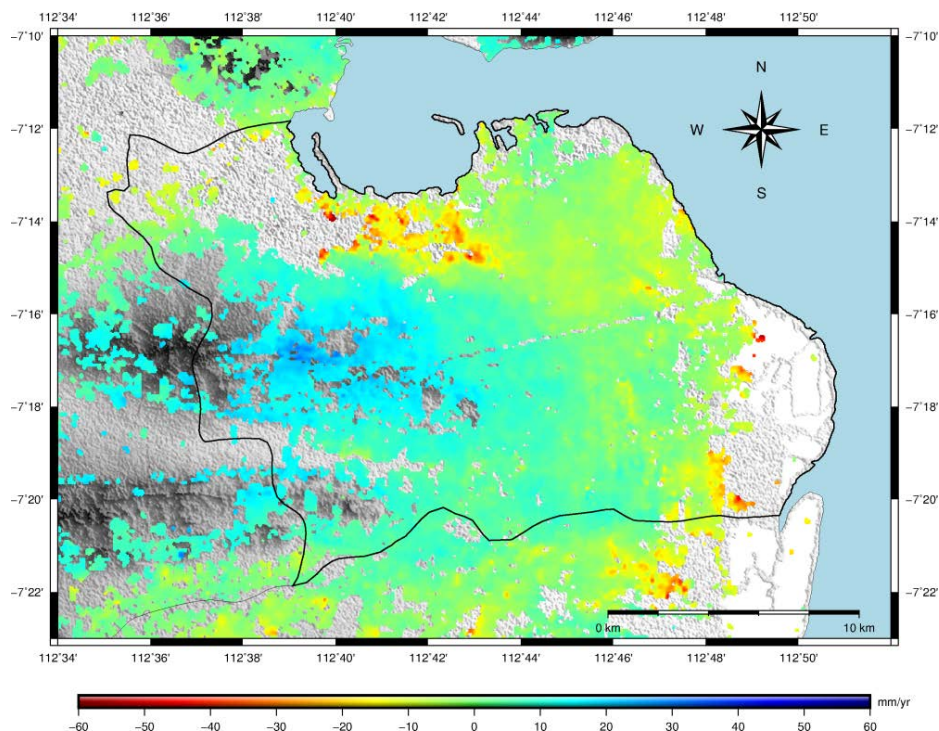


Gambar 4. 17 Kondisi Fungsi Lahan Tahun 2012 dan 2018 di Gunung Anyar Tambak

Lebih dari itu, menurut kondisi geologinya, Gunung Anyar berada di atas endapan aluvium yang belum terlitifikasi sehingga masih dalam proses konsolidasi atau kompaksi, jika pembangunan terus-menerus dilakukan, penurunan tanah akan terus bertambah.

4.2.2 Rata-rata Kecepatan Deformasi (*Mean LoS Velocity*)

Untuk mendapatkan *mean LoS velocity* (mm/yr), maka diterapkan formula *Least Square Inversion* dan *Singular Value Decomposition* (SVD) (Schmidt & Burgmann, 2003 dan Hooper, 2008). Gambar 4.18 menunjukkan rata-rata kecepatan deformasi Kota Surabaya hasil pengolahan metode SBAS mulai bulan Mei 2015 sampai September 2017, hasil tersebut diperoleh dari pengolahan 74 interferogram (*unwrapped phase*) melalui *software* GMT5SAR. Adapun rata-rata kecepatan deformasi yang terjadi yakni antara -40 mm/th dan +30 mm/th.



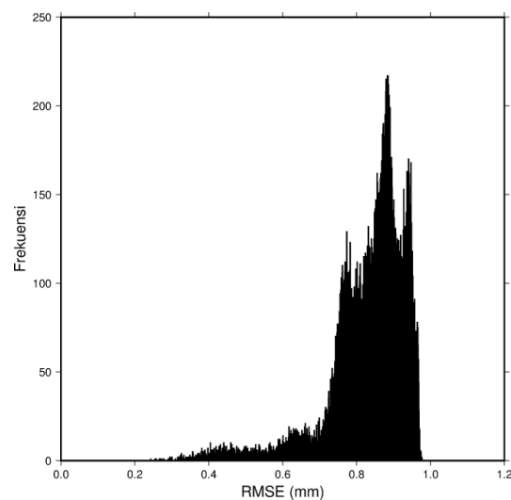
Gambar 4. 18 *Mean LoS Velocity* Kota Surabaya Bulan Mei 2015 sampai September 2017

Jika dilihat dari pola deformasinya, Surabaya Utara cenderung mengalami *land subsidence*. Dr. Amien Widodo peneliti di Pusat Studi Bencana ITS Surabaya sekaligus ahli geologi pada Suara Surabaya, Rabu (11/1/2012) mengatakan bahwa kawasan Surabaya Utara mempunyai karakter tanah basah yang mudah bergerak (Prastyo, 2012). Surabaya Barat sebagian besar permukaannya mengalami *uplift*, 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.

4.2.3 Root Mean Square Error (RMSE)

Selain kecepatan deformasi (*vel_ll.grd*) dan akumulasi *displacement* (*disp1.grd*, *disp2.grd*, *dst*), hasil pengolahan metode SBAS menggunakan GMTSAR juga menghasilkan nilai ketidakcocokan grid dalam millimeter atau yang disebut dengan *RMS of the data misfit grids* (*rms.grd*). Gambar 4.19 menunjukkan frekuensi distribusi kesalahan grid dalam millimeter (RMSE). Sebagian besar data memiliki kesalahan antara 0,9 sampai 1 mm.



Gambar 4. 19 Frekuensi Distribusi RMSE

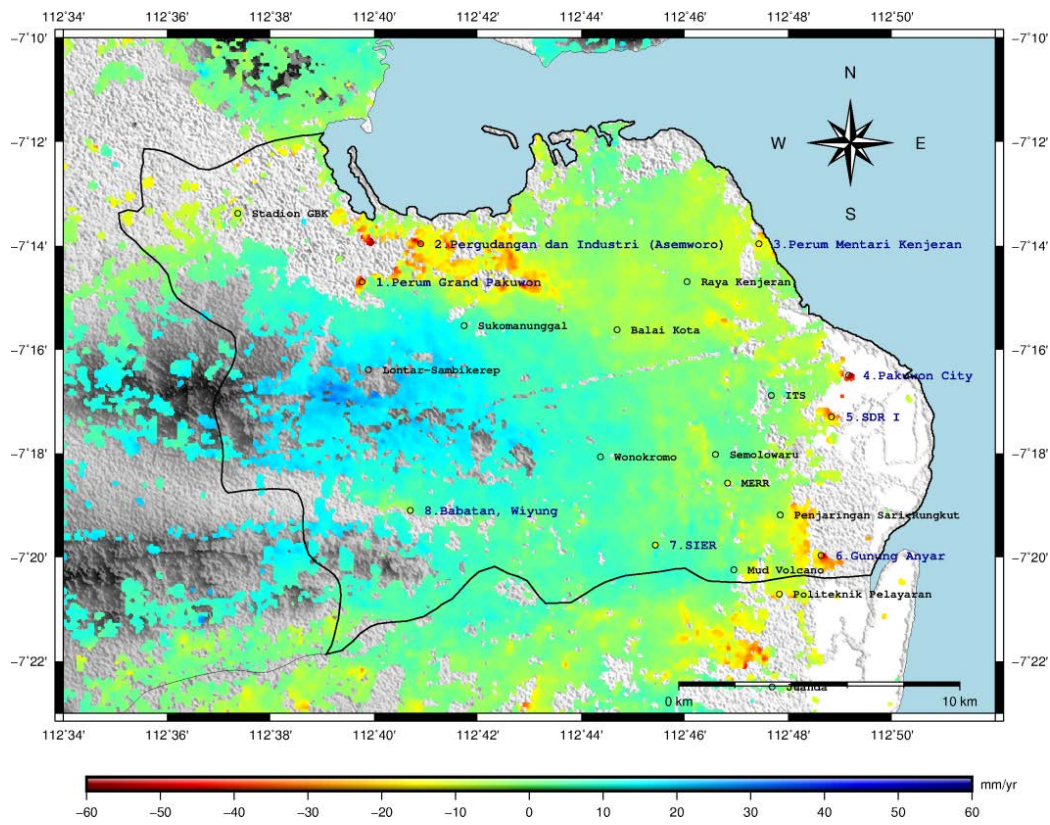
4.3 Analisa Penurunan Tanah Hasil Metode SBAS

Pengolahan 28 citra Sentinel-1A IW berdasarkan metode TSInSAR (SBAS) menghasilkan dua informasi penting berupa *displacement time-series* dan *mean LoS velocity* dengan format **.grd*. Tujuannya untuk mengetahui kemampuan metode *TS-InSAR* (SBAS), penelitian ini fokus menganalisa area yang mengalami penurunan tanah. Untuk analisa lebih lanjut, penelitian ini menyajikan lokasi titik-titik yang mengalami penurunan tanah, analisis penurunan tanah hubungannya dengan area permukiman, analisis penurunan tanah

hubungannya dengan kawasan industri dan perdagangan dan analisa deformasi hubungannya dengan kondisi geologi dan sesar Kendeng.

4.3.1 Titik-titik yang Mengalami Penurunan Tanah

Berdasarkan hasil *mean LoS velocity*, sisi Utara dan Timur Surabaya cenderung mengalami penurunan tanah dimana letaknya berbatasan langsung dengan pantai, Sedangkan sisi Selatan cenderung stabil, hanya beberapa area mengalami *subsidence* namun kecil. Analisa ini difokuskan pada 8 titik pengamatan yang secara signifikan mengalami penurunan tanah (Gambar 4.20).



Gambar 4. 20 Sebaran 8 Titik Penurunan tanah (ditulis dengan warna biru)

Tabel 4.6 menunjukkan rata-rata kecepatan deformasi per tahun (*mean LoS velocity*) dari 8 titik pengamatan yang dipilih sebagai titik sampel analisa. Sedangkan nilai koherensi menggambarkan kualitas segmentasi citra dan nilai fase pada tiap titik (mendekati 1 menunjukkan kuatnya korelasi/ *high coherence*).

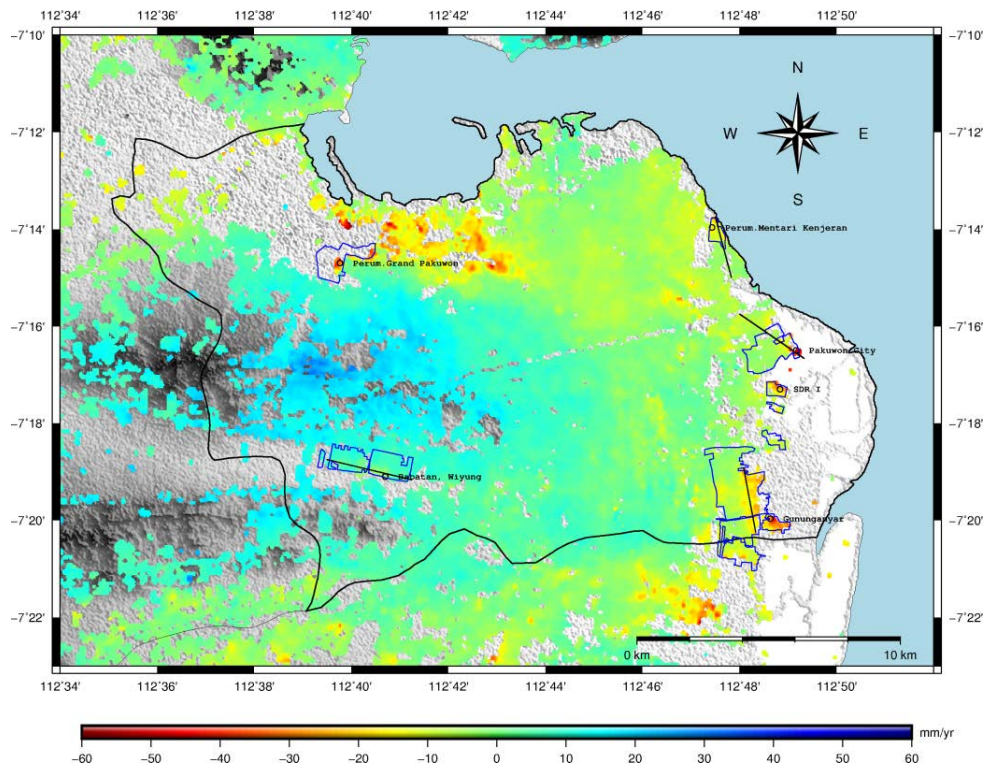
Tabel 4. 6 8 Titik Penurunan Tanah

No.	Lokasi Titik	Long	Lat	<i>LoS velocity</i> (mm)	Koherensi
1.	Perum. Grand Pakuwon	112,662	-7,245	-28,749	0,75
2.	Pergudangan dan Industri (Asemrowo)	112,681	-7,232	-45,531	0,38
3.	Perum. Mentari Kenjeran	112,790	-7,232	-16,918	0,53
4.	Pakuwon City	112,819	-7,275	-50,721	0,6
5.	SDR I	112,814	-7,288	-20,610	0,33
6.	Gunung Anyar	112,811	-7,332	-31,089	0,41
7.	SIER	112,757	-7,329	-16,346	0,6
8.	Babatan, Wiyung	112,678	-7,318	-4,108	0,67

Berdasarkan tabel diatas, titik Pakuwon City dan Asemrowo mengalami penurunan tanah tertinggi antara bulan Mei 2015 sampai September 2017 sebesar -50 mm/th dengan tingkat koherensi 0,6 dan -45 mm/th dengan tingkat koherensi 0,38. Sedangkan titik Babatan (Wiyung) mengalami penurunan tanah paling kecil sebesar 4 mm/th dengan tingkat koherensi 0,67.

4.3.2 Penurunan Tanah Hubungannya dengan Kawasan Permukiman

Dari 8 titik penurunan tanah yang telah dipilih sebagai titik analisa, 6 titik diantaranya menunjukkan area permukiman/ perumahan. Adapun 6 titik tersebut adalah titik Perum. Grand Pakuwon, Perum. Mentari Kenjeran, Pakuwon City (Cluster Casatobago), Gunung Anyar (Perum. The Royal Park Residence), dan Babatan Wiyung (Perum. Royal Residence). Tujuannya dalam mengamati tingkat penurunan tanah, penelitian ini menyajikan analisa dilihat dari profil melintang. Gambar 4.21, menunjukkan *mean LoS velocity* yang ter-*superimpose* dengan beberapa area permukiman di Kota Surabaya (poligon berwarna biru) dan garis potongan melintang (hitam).



Gambar 4. 21 Sebaran Potongan Melintang di Kawasan Permukiman.

a. Perumahan Grand Pakuwon

Titik ini terletak di Perumahan Grand Pakuwon, Kecamatan Tandes, kondisinya berupa bangunan permukiman (*cluster*) yang telah dilakukan pembangunan sejak 2014 (Lihat Gambar 4.22). Berdasarkan pengolahan metode SBAS bulan Mei 2015 sampai September 2017, kecepatan penurunan tanah di area ini mencapai 28,7 mm/th. Dampak kerusakan jalan dan bangunan tidak tampak di sekitar lokasi *cluster*, namun 100 m di sebelah barat lokasi (gapura perumahan) ini ditemukan kerusakan jalan dan bangunan yang cukup parah.



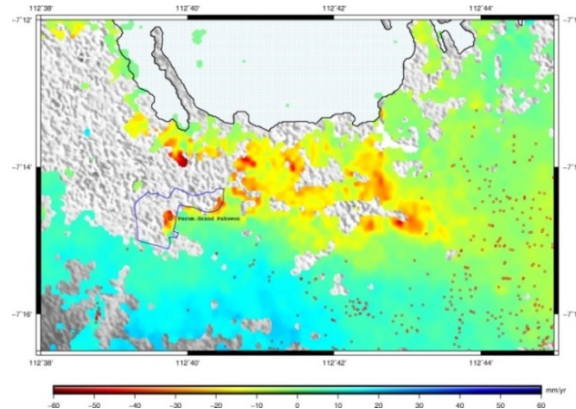
Gambar 4. 22 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Perum. Grand Pakuwon (Sumber: Google Earth)



Gambar 4. 23 Kondisi Lapangan di Titik Grand Pakuwon; Lokasi Perumahan (a) dan Kerusakan Jalan di Area Sekitar (b)

Lihat Gambar 4.13, kondisi jalan aspal di area perumahan masih sangat halus dan dalam kondisi baik, begitu juga dengan bangunan rumah masih dalam kondisi baik dan beberapa baru tahap pembangunan. Sedangkan di area sebelum memasuki perumahan (sebelum gapura) banyak ditemukan jalan (paving) yang kondisinya rusak dan ambles, ini dikarenakan oleh seringnya kendaraan berat melintas ke arah perumahan yang masih pada tahap perluasan. Intensitas kendaraan berat yang melewati area ini juga beresiko pada bangunan yang ada disekitarnya, lihat Gambar 4.23-b, kerusakan berat pada tembok sebuah bangunan yang ditunjukkan dengan adanya keretakan.

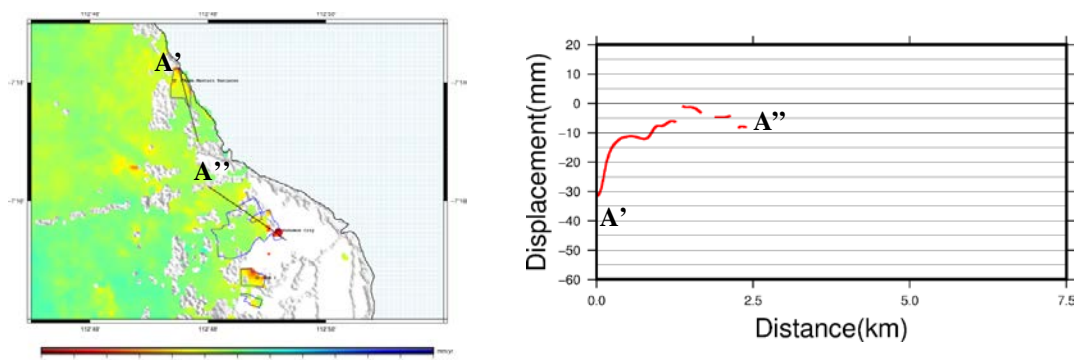
Pemicu lain yang mempengaruhi penurunan tanah disekitar lokasi ini disebabkan oleh pengambilan air tanah secara berlebih, Gambar 4.24 menunjukkan lokasi sebaran sumur air di sekitar Surabaya Utara dimana ini menunjukkan bahwa penduduk di sekitar lokasi memanfaatkan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih.



Gambar 4. 24 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Surabaya Utara

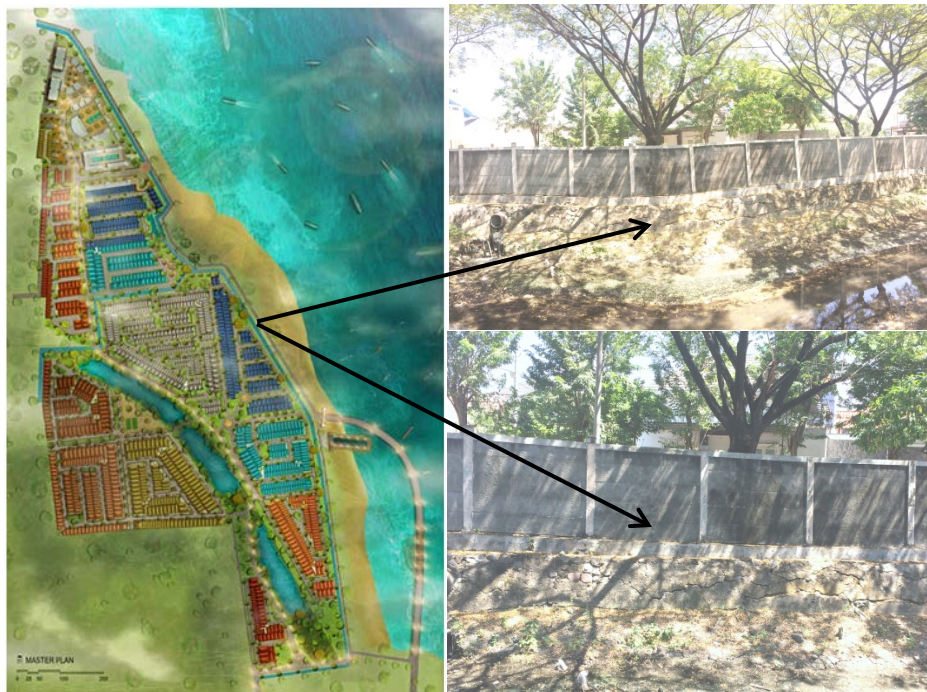
b. Perumahan Pantai Mentari

Titik ini terletak di Perumahan Pantai Mentari Kenjeran dimana pembangunan telah dilakukan sejak 2014. Berdasarkan pengolahan metode SBAS, rata-rata kecepatan penurunan tanah di area ini mencapai 16,9 mm/th. Sedangkan potongan melintang dibuat untuk mengetahui rata-rata kecepatan deformasi di area tersebut (lihat Gambar 4.25). Hasilnya menunjukkan bahwa kecepatan deformasi di Perumahan Pantai Mentari Kenjeran ini mencapai -30 mm/th.



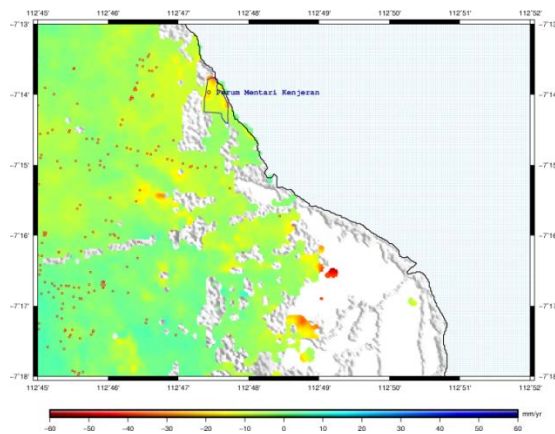
Gambar 4. 25 Tingkat Penurunan Tanah di Pantai Mentari Berdasarkan Profil Melintang

Paling timur kawasan ini banyak dijumpai rekahan-rekahan yang menyerupai amblesan di sepanjang pembatas antara perumahan dan sungai (Gambar 4.26), kemungkinan ini merupakan salah satu indikasi adanya pergerakan tanah di area ini. Berdasarkan letaknya, area ini dekat dengan pantai, ± 300 m dari garis pantai dan sebagian tanah di wilayah Surabaya paling Timur ini terbentuk dari proses sedimentasi.



Gambar 4. 26 Masterplan Perum. Pantai Mentari Kenjeran (Sumber: <http://www.pantaimentari.com>) dan Dampak di Lapangan

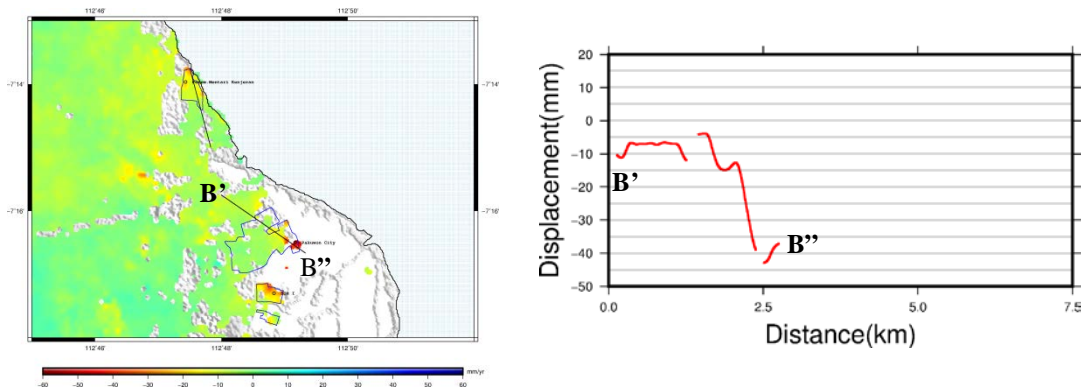
Pemicu lain yang mempengaruhi adanya pergerakan tanah disekitar lokasi ini kemungkinan karena lokasinya dekat dengan pantai serta penggunaan air tanah yang berlebih, Gambar 4.27 menunjukkan lokasi sebaran sumur air di sekitar Kecamatan Kenjeran dimana ini menunjukkan bahwa penduduk di sekitar lokasi memanfaatkan air tanah untuk memenuhi kebutuhan air bersih.



Gambar 4. 27 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Kenjeran

c. Pakuwon City

Titik ini terletak di Perumahan Pakuwon City, Kecamatan Kejawan Putih Tambak tepatnya di Cluster Casatobago. Perumahan ini dikembangkan oleh Pakuwon Group sejak tahun 2011. Berdasarkan Gambar 4.28, besar kecepatan penurunan tanah di lokasi ini mencapai -50,7 mm/th, sedangkan hasil potongan melintang menunjukkan rata-rata kecepatan penurunan tanah antara -5 mm/th sampai dengan -45 mm/th.



Gambar 4. 28 Tingkat Penurunan Tanah di Pakuwon City Berdasarkan Potongan Melintang

Ketika melakukan *field check*, tidak ditemukan jalan (aspal) yang mengalami kerusakan, semua fasilitas tampak dalam kondisi baik, hanya saja pagar-pagar beton pembatas antara area ini dengan *mangrove* menunjukkan adanya ketidakstabilan tanah (lihat Gambar 4.29).



Gambar 4. 29 Kondisi Lapangan di Titik Pakuwon City

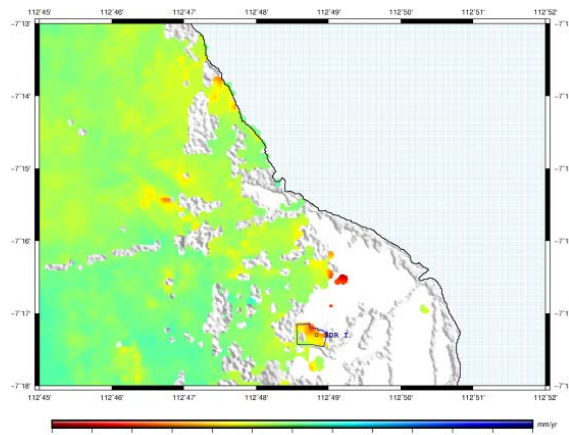


Gambar 4. 30 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Perum. Pakuwon City
(Sumber: Google Earth)

Lokasi ini berbatasan langsung dengan pantai timur Kota Surabaya (lihat Gambar 4.01), dapat dikatakan proses sedimentasi di daerah ini masih cukup tinggi dan jika belum terkompaksi maka akan berdampak pada penurunan tanah. Selain itu, perubahan fungsi lahan juga merupakan pemicu terjadinya deformasi, dahulu sebagian besar area ini berupa tambak, namun berkurang karena dilakukan pengurukan dan perluasan guna pengembangan area pemukiman.

d. Sukolilo Dian Regency (SDR) 1

Berdasarkan pengolahan metode SBAS bulan Mei 2015 sampai September 2017 (Gambar 4.31), kecepatan penurunan tanah di area ini mencapai 20,6 mm/th. Kemungkinan penurunan tanah di titik ini diakibatkan dari efek pembangunan perumahan elit milik Pakuwon City tersebut.



Gambar 4. 31 Titik Penurunan Tanah di SDR-1

Titik ini terletak di Perumahan SDR-1, sebelah Utara berbatasan dengan dari Perumahan Pakuwon City yang jaraknya hanya ± 40 m, sedangkan di sebelah Timur SDR1 merupakan tambak dan *mangrove* (Gambar 4.32). Pada tahun 2013, lahan milik Pakuwon City (di sebelah Utara SDR1) masih berupa tambak, namun sejak 2014 telah mengalami perubahan menjadi kawasan perumahan, hal ini menjadi salah satu kemungkinan penyebab adanya pergerakan tanah di titik SDR-1.

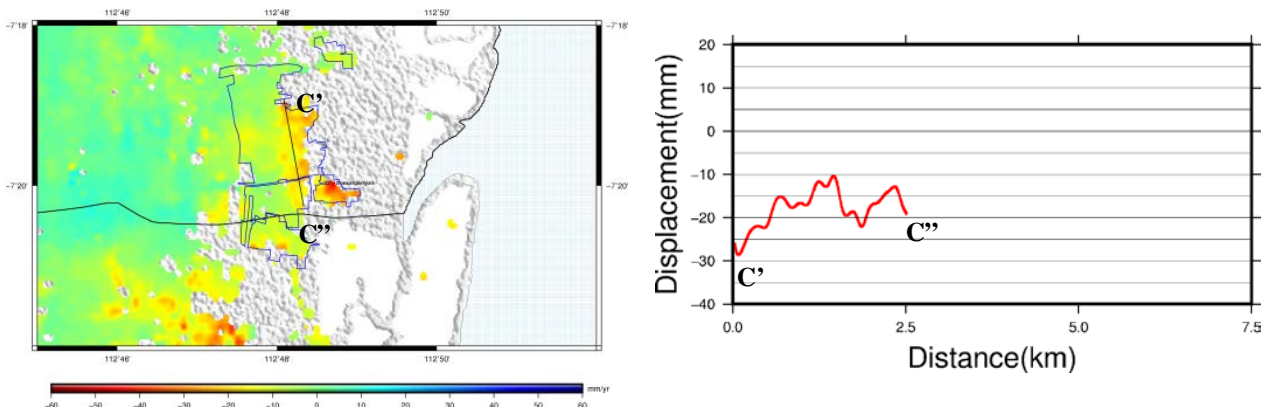


Gambar 4. 32 Lokasi Titik Penurunan Tanah di SDR-1

e. Gunung Anyar

Pada sub bagian 4.2.1 telah dijelaskan bahwa kondisi Gunung Anyar tambak antara 2014 dan 2018 mengalami perubahan, ini dibuktikan dengan menurunnya luas *mangrove* akibat pengalihan fungsi ke sektor permukiman. Rosytha (2016) juga menyebutkan bahwa Kecamatan Rungkut, Gunung Anyar dan Sukolilo merupakan kecamatan yang mengalami perubahan tata guna lahan paling besar dari tahun 2003 sampai 2013, terutama pada sektor permukiman. Saat ini, luas area vegetasi dan tambak telah berkurang, 70% luas areanya dikuasai swasta untuk kebutuhan pengembangan permukiman. Jika proses pengurangan kawasan tambak atau vegetasi ini terus-menerus dilakukan untuk keperluan pembangunan permukiman, dikhawatirkan area resapan akan berkurang dan penurunan tanah mudah terjadi akibat pembebanan bangunan diatas lahan yang sebelumnya berupa tambak.

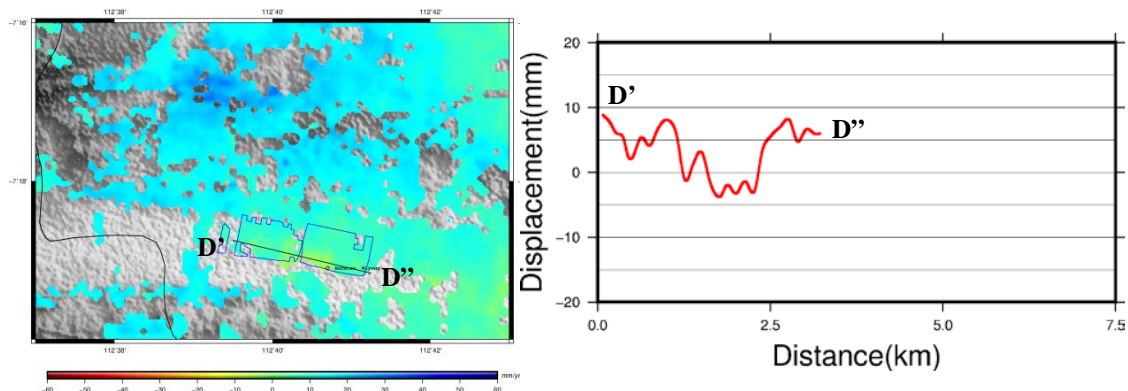
Berdasarkan penerapan metode SBAS, diketahui bahwa kecepatan deformasi di Gunung Anyar, tepatnya di sekitar perumahan The Royal Park Residence mencapai -31 mm/th. Sedangkan dari *cross section* hasil penarikan garis dari Penjaringan Sari ke Gunung Anyar pada Gambar 4.33 menunjukkan penurunan tanah antara -10 mm/th sampai -30 mm/th.



Gambar 4. 33 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Gunung Anyar Berdasarkan Potongan Melintang

f. Babatan-Wiyung

Region ini terletak di Surabaya Barat dengan bentuk topografi yang cenderung lebih tinggi, berbukit di daerah Lidah dan Gayungan. Berdasarkan hasil pengolahan SBAS, diketahui bahwa kenaikan muka tanah (*uplift*) sebagian besar terjadi di Surabaya Barat, namun penelitian ini menemukan adanya *land subsidence* di sekitar Perumahan Royal Residence (Wiyung) bagian selatan (Gambar 4.34). berdasarkan pengolahan SBAS, diketahui kecepatan penurunan tanah di titik tersebut cenderung kecil, -4 mm/th. Sedangkan dilihat dari hasil *cross section*, besar deformasi di titik ini berada pada rentang -4 mm/th sampai +10 mm/th.



Gambar 4. 34 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Babatan-Wiyung Berdasarkan Potongan Melintang

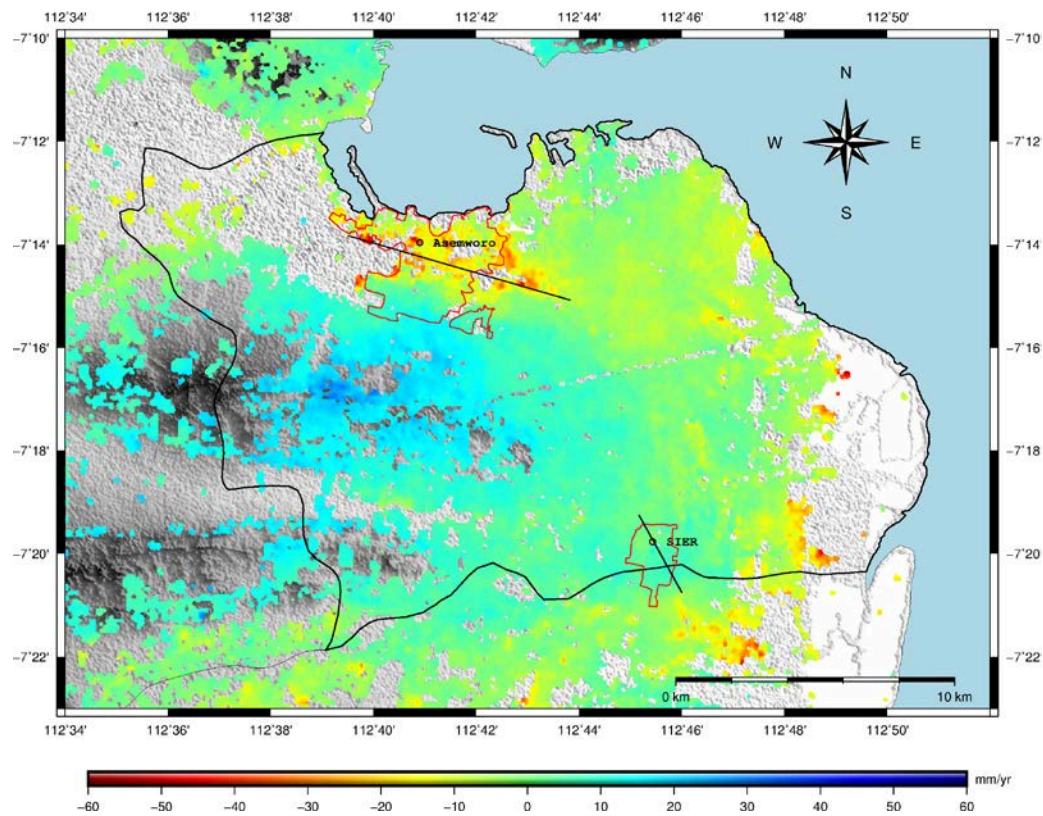
Dari hasil *groundcheck* di lapangan, lokasi titik *subsidence* ini berada di dekat daerah aliran sungai (lihat Gambar 4.35) dan secara geologi terletak daratan aluvial yang mengandung campuran kerikil, pasir, dan lempung serta terdapat bentang alam berupa Sungai yang berada di Selatan titik ini. Kondisi tersebut merupakan indikasi adanya proses penurunan tanah di area ini. Menurut Changxing, et al (2007), proses penurunan tanah dapat terbentuk dari proses konsolidasi sedimen yang mengandung tanah liat berlumpur dan lapisan lempung yang berada di sepanjang Sungai.



Gambar 4. 35 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Babatan-Wiyung (Sumber: Google Earth)

4.3.3 Penurunan Tanah Hubungannya dengan Kawasan Industri dan Pergudangan

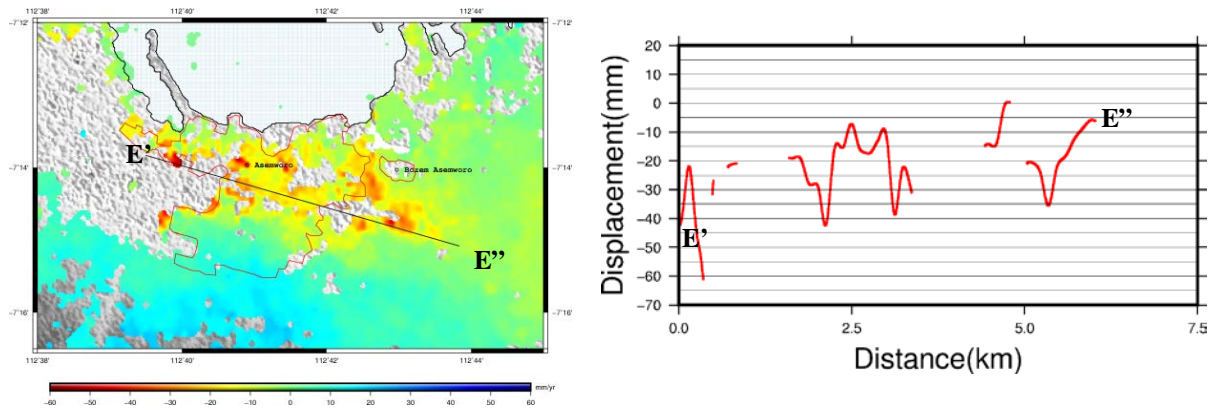
Dari 8 titik penurunan tanah yang telah dipilih sebagai titik analisa, 2 titik diantaranya menunjukkan kawasan industri dan pergudangan. Adapun 2 titik tersebut terletak di Asemrowo dan Rungkut (SIER). Penelitian ini juga menyajikan analisa berdasarkan sampel potongan melintang untuk mengetahui tingkat penurunan tanah. Gambar 4.36, menunjukkan *mean LoS velocity* yang ter-*superimpose* dengan beberapa kawasan industri dan pergudangan di Kota Surabaya (poligon berwarna merah) dan garis potongan melintang (hitam).



Gambar 4. 36 Sebaran 2 Sampel Potongan Melintang di Kawasan Industri dan Pergudangan

a. Asemrowo

Kawasan industri dan pergudangan yang berada di Surabaya Utara memiliki luas 574,7 Ha, ini meliputi kawasan industri Tambak Osowilangun, Margomulyo dan Krembagan. Pada titik ini hasil menunjukkan bahwa rata-rata *mean velocity displacement* pada titik ini mencapai -45 mm/th. Sedangkan berdasarkan potongan melintang, tingkat penurunan tanah di area ini menunjukkan penurunan yang paling besar, antara 0 sampai -60 mm/th (lihat Gambar 4.37). Dugaan kuat penurunan tanah di area industri osowilangun (asemoworo) ini dikarenakan oleh beban bangunan industri serta kendaraan berat. Setiap hari kendaraan berat yang membawa beban berton-ton ini melewati ruas jalan Asemrowo.



Gambar 4. 37 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan Asemrowo Berdasarkan Potongan Melintang

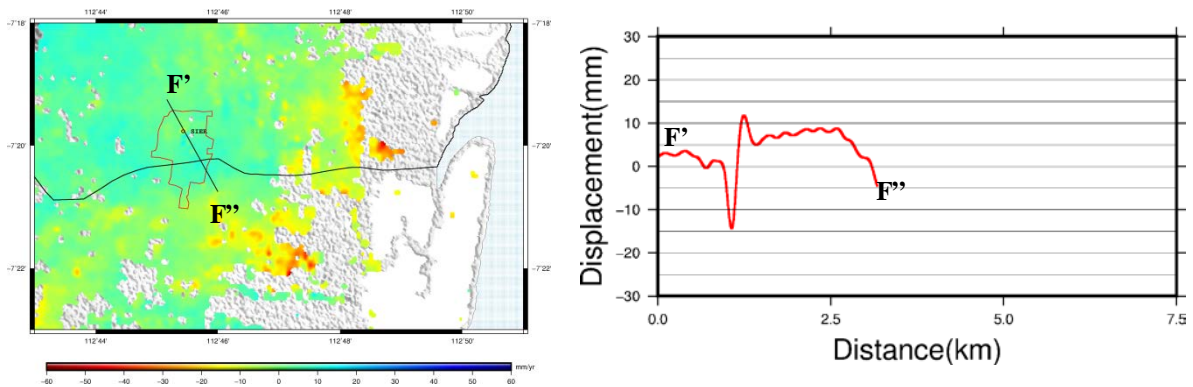
Dr. Amien Widodo juga menduga bahwa di sekitar bozem morokrengan (Gambar 4.38) sudah mengalami degradasi kawasan air. Pengurukan yang dilakukan disana tidak hanya dengan tanah, tetapi juga dengan sampah, ini yang perlu diwaspadai karena jika terjadi dekomposting (pembusukan), kekuatan tanah akan semakin berkurang. Apabila terus dilakukan pembangunan permukiman, maka akan menambah beban dan menciptakan penurunan lapisan tanah (Prastyo, 2012). Ini sesuai dengan hasil pengamatan data SAR dimana kondisi di area sekitar Bozem Asemrowo menunjukkan penurunan tanah mencapai -20 mm/th.



Gambar 4. 38 Lokasi Titik Penurunan Tanah di Asemrowo (Sumber: Google Earth)

b. SIER (Rungkut)

Kawasan pusat industri dan pergudangan di Surabaya Timur terletak di kecamatan Rungkut ini dikenal dengan nama PT. SIER (Surabaya Industrial Estate Rungkut), luasnya mencapai 150 Ha. Berdasarkan hasil pengolahan SBAS menunjukkan bahwa rata-rata *mean LoS velocity* pada titik ini mencapai -16 mm/th. Sedangkan berdasarkan potongan melintang (Gambar 4.39), tingkat penurunan tanah di area ini termasuk kecil, antara -15 mm/th sampai +12 mm/th.



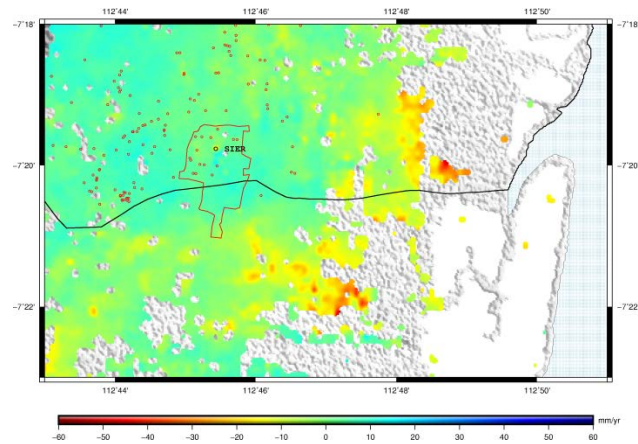
Gambar 4. 39 Tingkat Penurunan Tanah di Kawasan SIER Berdasarkan Potongan Melintang

Sebagian kecil titik *land subsidence* ditemukan di Jalan Raya Rungkut Industri yang letaknya dekat dengan badan air yang meliputi sungai dan kolam (lihat Gambar 4.40). Sehingga ada kemungkinan bahwa penurunan tanah di titik ini dikarenakan lokasinya yang dekat dengan daerah aliran sungai.



Gambar 4. 40 Lokasi Titik Penurunan Tanah di SIER (Sumber: Google Earth)

Kemungkinan lain pemicu terjadinya penurunan tanah disekitar lokasi ini adalah pengambilan air tanah secara berlebihan, ini dapat diketahui dari data sebaran sumur air di sekitar lokasi (Gambar 4.41). Banyaknya lokasi sumur air di area ini menunjukkan besarnya kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan pabrik-pabrik yang berada di SIER.



Gambar 4. 41 Lokasi Penggunaan Air Tanah di Sekitar Surabaya Utara

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan, ditemukan kerusakan jalan (aspal) dan trotoar yang menyerupai retakan. Retakan ini kemungkinan muncul akibat penekanan beban bangunan pabrik dan gudang sehingga menimbulkan respon amblesan. Gambar 4.42 menunjukkan adanya retakan jalan dan trotoar. Sedangkan ruas-ruas jalan di area sering difungsikan sebagai lahan parkir truk-truk yang jumlahnya lebih dari satu truk, ini dapat membebani tanah yang ada dibawahnya (Gambar 4.43).



Gambar 4. 42 Kondisi Jalan dan Trotoar di Titik SIER

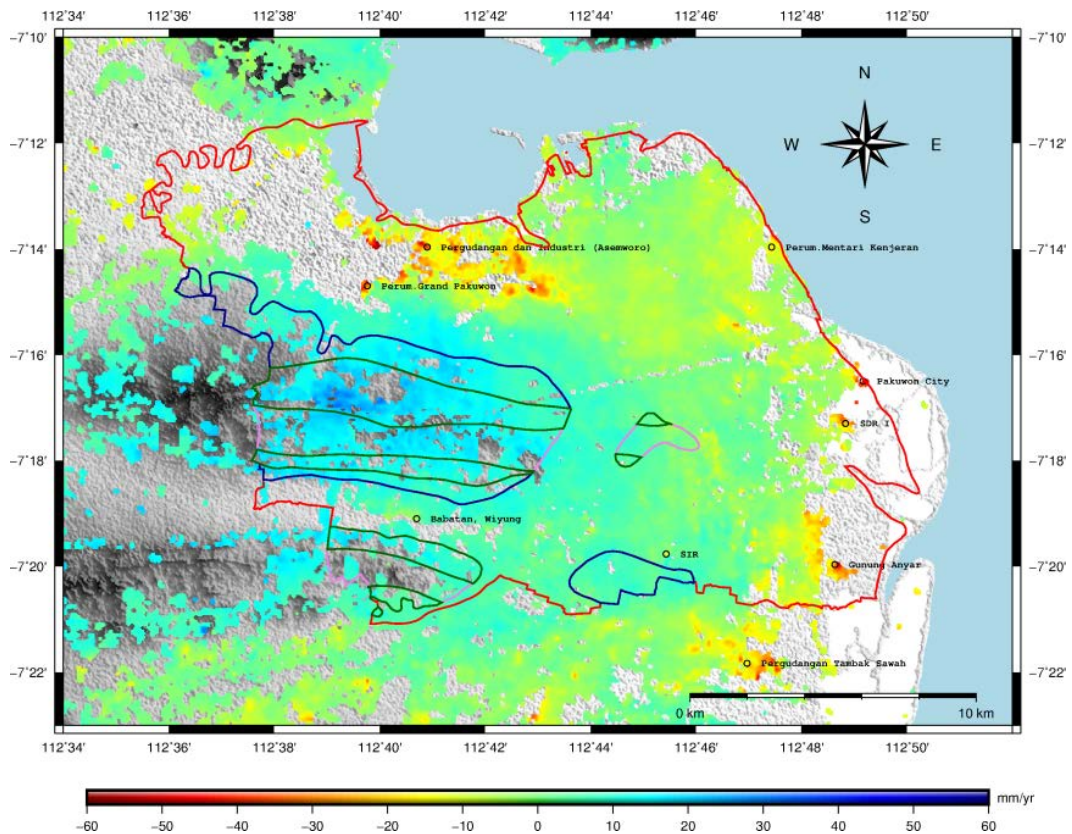


Gambar 4. 43 Kondisi Ruas Jalan di Titik SIER

4.3.4 Deformasi Hubungannya dengan Kondisi Geologi dan Sesar Kendeng

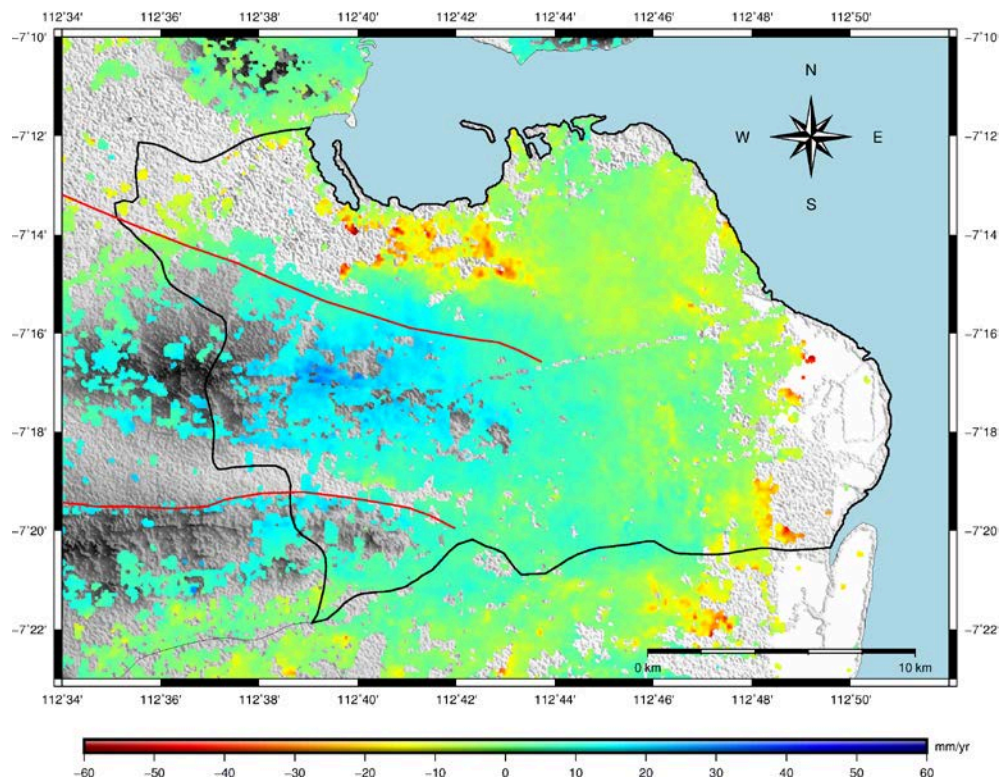
Mayoritas piksel-piksel yang menunjukkan *land subsidence* terletak di area yang didominasi oleh Aluvial. Tanah aluvial merupakan tanah endapan, dibentuk dari lumpur dan pasir halus yang mengalami erosi tanah. Tanah aluvial banyak ditemukan di dataran rendah, di sekitar muara sungai, rawa-rawa, lembah, 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 4.3.1, 8 titik yang mengalami penurunan tanah tersebut terletak di daratan Aluvial (poligon merah), lihat Gambar 4.44. Sedangkan jika diamati kembali, kenaikan muka tanah sebagian besar terjadi di sepanjang formasi Kalipucang (polygon biru), Lidah (polygon ungu), dan Pucangan (polygon hijau). Rata-rata kenaikan muka tanah yang terjadi di beberapa formasi ini mencapai +20 mm/th, kenaikan muka tanah paling besar terjadi di area yang berada pada Formasi Pucangan, tepatnya di Kelurahan Lontar, Kecamatan Lakarsantri.



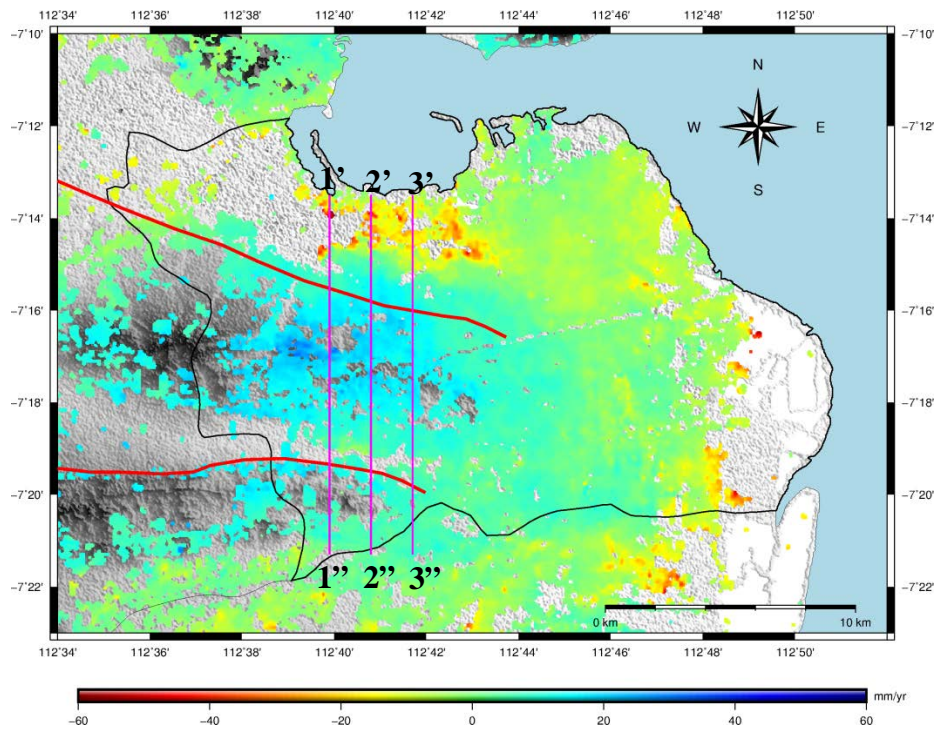
Gambar 4. 44 Peta Kecepatan Deformasi *Superimposed* dengan Jenis Geologi Kota Surabaya. Aluvium (poligon merah) Formasi Kalipucang (poligon biru), Lidah (poligon ungu), dan Pucangan (poligon hijau).

Rata-rata kecepatan deformasi hasil pengolahan SBAS menunjukkan adanya perbedaan pola diantara daratan yang dilewati oleh garis sesar (Gambar 4.45). Di sebelah utara garis sesar (Surabaya Utara), menunjukkan deformasi vertikal berupa penurunan muka tanah, sedangkan di sebelah selatan garis sesar (Surabaya Barat) menunjukkan deformasi vertikal berupa kenaikan muka tanah.

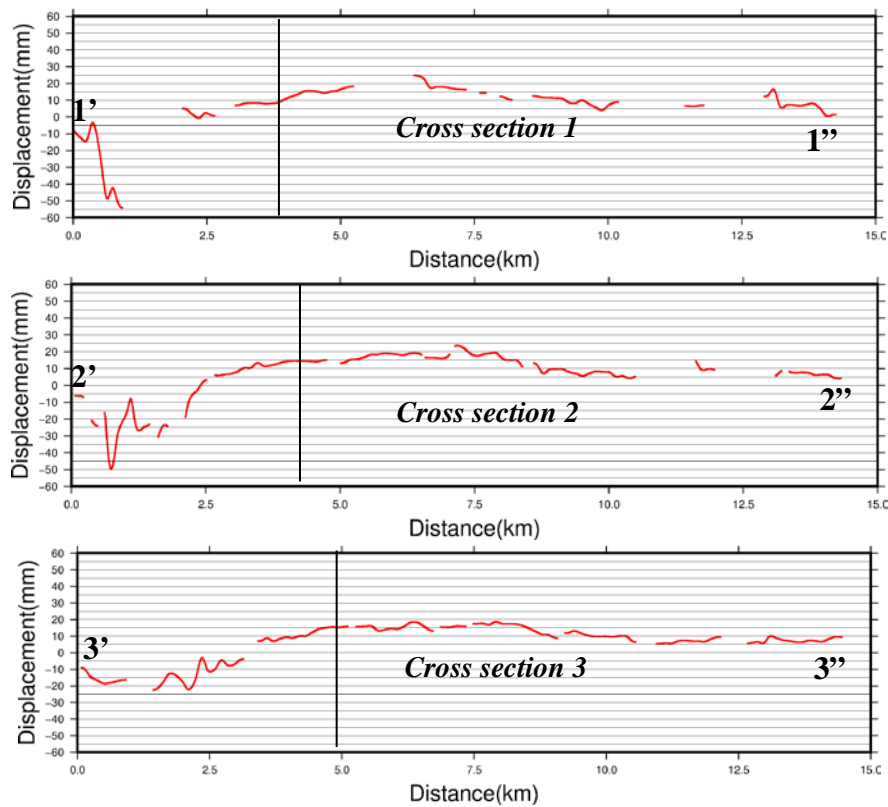


Gambar 4. 45 Peta Kecepatan Deformasi *Superimposed* dengan Sesar Kendeng

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 4.46. Kemudian, untuk melihat pola pergerakannya, penelitian ini juga menganalisis masing-masing *cross section* dalam bentuk grafik (lihat Gambar 4.47).



Gambar 4. 46 Peta Kecepatan Deformasi *Superimposed* dengan Sesar Kendeng dan *Cross Section*



Gambar 4. 47 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 4.47, 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 -50 mm/th, kemudian saat melewati sesar Kendeng terjadi kenaikan muka tanah mulai 0 sampai +20 mm/th. Ini mengindikasikan bahwa sesar Kendeng dalam kondisi aktif, namun masih belum diketahui jenisnya, apakah *locked 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.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan hasil penelitian dan saran yang diberikan untuk perbaikan penelitian berikutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penerapan metode SBAS-DInSAR, maka kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil menerapkan metode *small baseline subset* dengan memaksimalkan *perpendicular baseline* kurang dari 135 m dan *temporal baseline* kurang dari 108 hari.
2. Hasil mengolah metode SBAS menggunakan data citra Sentinel-1A (resolusi 20 m) pada bulan Mei 2015 sampai September 2018 menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata deformasi berdasarkan *LoS* di Kota Surabaya mencapai -40 mm/th dan +30 mm/th.
3. Sebagian besar penurunan muka tanah terjadi di area permukiman dan kawasan industri dan pergudangan, penurunan muka tanah tertinggi terjadi di area Perumahan Pakuwon City mencapai -50 mm/th dan kawasan area dan industri Asemrowo mencapai -45 mm/th.
4. Adanya perubahan pola deformasi diantara dua wilayah (Surabaya Utara dan Surabaya Barat) yang dilewati oleh garis sesar Kendeng mengindikasikan bahwa sesar ini dalam kondisi aktif.
5. Berdasarkan kondisi geologinya, 8 titik yang mengalami penurunan tanah terletak di area yang didominasi oleh Aluvium dimana kondisi tanahnya belum terlitifikasi dan masih dalam proses kompaksi dan konsolidasi. Secara perlahan dikhawatirkan akan mengalami penurunan tanah jika ada pembebanan di atasnya atau kosongan rongga di lapisan bawah permukaan akibat pengambilan air tanah. Khususnya Surabaya Utara, selain berada di tanah aluvial, pemicu lain penurunan tanah dikarenakan oleh jenis tanahnya basah sehingga mudah bergerak.

6. Metode TS-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 dimana perubahan kondisi daun dan batang dapat meningkatkan dekorelasi temporal akibat.
7. Besar *RMSE* akibat ketidakcocokan grid mencapai 0,9 sampai 1 mm.

5.2 Saran

Berikut saran-saran yang diberikan pada penelitian ini untuk perbaikan penelitian berikutnya:

1. Disarankan menggunakan data DEM dengan resolusi yang lebih baik (ALOS PALSAR resolusi 12,5 m) untuk meningkatkan koreksi topografi ketika melakukan pengurangan fase akibat topografi.
2. Disarankan menggunakan citra SAR yang lebih sensitif lagi terhadap *soil* atau tanah, misalnya ALOS PALSAR (*Band-L*) dengan panjang gelombang 23,6 cm dan resolusi spasial 10 m. Sedangkan masalah gangguan troposfer dapat dikurangi dengan pemakaian data yang diakuisisi pada pagi hari atau petang, contohnya citra Radarsat yang melakukan akuisisi pada pagi hari pukul 06.00 (*descending*) dan pukul 18.00 (*ascending*).
3. Diharapkan penelitian berikutnya menyajikan data penggunaan air tanah atau bukti lapangan berupa keberadaan sumur air tanah.
4. Jika studi kasus yang digunakan merupakan area perkotaan dengan penurunan tanahnya yang relatif kecil maka disarankan menggunakan data dengan jangka waktu yang lebih panjang. Untuk mengurangi dekorelasi temporal dan geometrik maka perlu adanya penambahan sejumlah data SAR yang lebih banyak lagi (rentang waktu pengamatan diperpanjang); dengan catatan jarak *perpendicular* tidak lebih dari 150 m dan jarak temporal tidak lebih dari 120 hari.
5. Tujuannya untuk menguji kemampuan metode TS-InSAR, maka selain menerapkan metode SBAS, disarankan juga melakukan pengamatan deformasi dengan menerapkan metode PS-InSAR.

6. Tujuannya untuk mengetahui tingkat akurasi hasil metode SBAS, diharapkan penelitian berikutnya menyajikan data validasi yang didapatkan dari pengamatan GPS.
7. Diperlukan kajian yang lebih akurat dengan menggunakan pengamatan sipat datar secara berkala, khususnya di kawasan industri dan pergudangan Asemrowo dan kawasan permukiman di kawasan Gunung Anyar Tambak dan Pakuwon City dimana area tersebut merupakan area vital yang berpotensi mengalami penurunan muka tanah.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., 2013. Analisis dan Simulasi Parameter Radar Terhadap Performansi Synthetic Aperture Radar pada Tahap Awal Pencitraan Sensor Radar. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- 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*. s.l., IOP.
- 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. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 98.
- Agram, P., 2015. *InSAR time-series A Quick Introduction*, Standford, USA: Unavco.
- Amelung, F. et al., 1999. Sensing The Ups and Down of Lav Vegas: InSAR Reveals Structure Control of Land Subsidence and Aquifer-System. *Geology*, Volume 27,6, pp. 483-486.
- Anjasmara, I. M. et al., 2016. Analysing Surface Deformation in Surabaya from Sentinel-1A Data using DInSAR Method.
- Aslan, G. et al., 2018. Analysis of Secular Ground Motions in Istanbul from a Long-Term InSAR Time-Series (1992–2017). *Remote Sens*, Volume 10, p. 408.
- Bamler, R. & Hartl, P., 1998. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Inverse Problem*, Volume 14, pp. R1-R54.
- Bao, M., Bruning, C. & Alpers, W., 1997. Simulation of Ocean Waves imaging by an Along-track Interferometric Synthetic Aperture Radar. *IEEE Trans Geoscience and Remote Sensing*, Volume 35, pp. 618-31.
- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. & Sansosti, E., 2002. A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Volume 40 No. 11, pp. 2375-2383.
- Biswas, K., Chakravarty, D., Mitra, P. & Misra, A., 2017. Spatial-Correlation Based Persistent Scatterer Interferometric Study for Ground Deformation. *Indian Soc. Remote Sensing*, Volume 45, pp. 1-14.
- BPS Surabaya, 2017. Kota Surabaya Dalam Angka. Dalam: Surabaya: Badan Pusat Statistik Surabaya, p. 67.
- Briole, P., Massonnet, D. & Delacourt, C., 1997. Post-eruptive Deformation Associated with the 1986–87 and 1989 Lava Flows of Etna, detected by Radar Interferometry. *Geophysic.Res.Lett*, Volume 24, pp. 37-40.

- Carande, R. E., 1994. Estimating cean Coherence Time using Dual-baseline Interferometric Synthetic Aperture Radar. *IEEE Trans.Geoscience and Remote Sensing*, Volume 32, pp. 846-54.
- Casu, F., Manzo , M. & Lanari, R., 2006. A Quantitative Assessment of The SBAS Algorithm Performance For Surface Deformation Retrival from DInSAR Data. *Remote Sens. Environ*, Volume 102, pp. 195-210.
- Casu, F., Mazzarella, G. & Lanari, R., 2009. *The Small Baseline Subset Technique: Performance Assesment and New Developments for Surface Deformation Analysis of Very Extended Area*, Cagliari, Italia: Dept. of Electronical and Electronic Engineering, University of Cagliari.
- Changxing, S. et al., 2007. Land Subsidence as a Result of Sediment Consolidation in the Yellow River Delta. *Journal of Coastal Research*, Volume 23, pp. 173-181.
- Chen, C. W. & Zebker, H. A., 2000. Network Approaches To Two-Dimentional Phase Unwrapping; Intractability and Two New Algorithm. *JOSA A 17*, Volume 3, pp. 401-414.
- CLS Group Company, 2017. *Measuring Surface Motion*. [Online] Available at: <http://tre-altamira.com/technology/> [Diakses 22 May 2017].
- Crosetto, M., Crippa, B. & Biescas, E., 2005. Early Detection and In-depth Analysis of Deformation Phenomena by Radar Interferometry. *Engineering Geology*, Volume 79(1-2), pp. 81-91.
- Dang, V. K. et al., 2014. Recent Land Subsidence Caused by The Rapid Urban Development in The Hanoi Region (Vietnam) using ALOS InSAR Data. *Natural Hazard and Earth System Science*, Volume 14, pp. 657-674.
- Dixon, T. et al., 2006. New Orleans Subsidence and Relation to Flooding After Hurriceance Katrina, as measured by Space Geodesy. *Nature 441 (June (7093))*, pp. 587-588.
- Dwivedi, R. et al., 2016. *Multi-temporal SAR Interferometry For Landslide Monitoring*. Prague, Czech Republic, ISPRS.
- ESA, 2000a. *Interferometric Wide Swath*. [Online] Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes/interferometric-wide-swath> [Diakses 07 05 2018].
- ESA, 2000. *Level-1 Single Look Complex*. [Online] Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/resolutions/level-1-single-look-complex> [Diakses 5 07 2018].
- ESA, 2000. *Radar Course 2 - Synthetic Aperture Radar*. [Online] Available at: https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/ers/instruments/sar/applications/radar-courses/content-2/-/asset_publisher/ [Diakses 8 January 2018].
- ESA, 2013. Dalam: *Sentinel-1 User Handbook*. s.l.:European Space Agency, pp. 9-50.

- ESA, 2014a. *Introducing Sentinel-1A*. [Online] Available at: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1 [Diakses 29 01 2018].
- Fahnestock, M. A., Bindshadler, R., Kwok, R. & Jezek, K., 1993. Greenland Ice Sheet Surface Properties and ice Dynamics from ERS-1 Synthetic Aperture Radar. *Science*, Volume 262, pp. 1530-4.
- Ferretti, A. et al., 2011. A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, Volume 44, pp. 3460-3470.
- Ferretti, A. et al., 2007a. InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. *ESA Publication*, Volume 19.
- Ferretti, A. et al., 2004. InSAR Permanent Scatterers Analysis Reveals Ups and Downs in San Francisco Bay Area. *EOS, Transaction on American Geophysical Union* 85, Volume 34, pp. 317-324.
- Ferretti, A., Rocca, F. & Prati, C., 1999. *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. Hamburg, Germany, Proc. of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 1-3.
- Ferretti, A., Rocca, F. & Prati, C., 2000. Nonlinear Subsidence Rate Estimation using Permanent Scatterer in Differential SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 38 (5), pp. 2202-2212.
- Ferretti, A., Rocca, F. & Prati, C., 2001. Permanent Scatterer in SAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 39 (1), pp. 8-20.
- Ferretti, A. et al., 2007b. Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation. *IEEE Transactins on Geoscience and Remote Sensing* 45, Volume 5, pp. 1142-1153.
- Gdeisat, M. & Lilley, F., 2018. [Online] Available at: https://www.ljmu.ac.uk/~media/files/ljmu/about-us/faculties-and-schools/tae/geri/onedimensionalphaseunwrapping_finalpdf [Diakses 26 03 2018].
- Goldstein, R., Engelhardt, H., Kamb, B. & Frohlich, R. M., 1993. Satellite Radar Interferometry for Monitoring Ice Sheet motion: Application to an Antarctic Ice Stream. *Science*, Volume 262, pp. 1525-30.
- Goldstein, R. M. & Werner, C. L., 1998. Radar Interferogram Filtering for Geophysical Application. *Geophys*, Volume 25, pp. 4035-4038.
- Goldstein, R. M. & Zebker, H. A., 1987. Interferometric Radar Measurement of Ocean Surface Current. *Nature*, Volume 328, pp. 707-9.
- Haghighi, M. H. & Motagh, M., 2017. Sentinel-1 InSAR over Germany: Large-Scale Interferometry, Atmospheric Effects, and Ground Deformation Mapping. 4, pp. 245-256.

- Hanssen, R. F., 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Volume 2 penyunt. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic.
- Haqqi, M. K. F., Yuwono, B. D. & Awaluddin, M., 2015. Survei Pendahuluan Deformasi Muka Tanah Dengan Pengamatan GPS Di Kabupaten Demak (Studi Kasus: Pesisir Pantai Kecamatan Sayung). *Geodesi Undip*, Volume 4, pp. 81-90.
- Hardi, A. H., 2008. *Studi Pemanfaatan Band yang Berbeda pada InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)*. s.l.:Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- Harris, A. J. L., Groeve, T. d., Garel, F. & Carn, S. A., 2016. *Detecting, Modelling, and Responding to Effusive Eruptions*. Bath, United Kingdom: Geological Society.
- Hassen, R. F., 2003. *Subsidence Monitoring Using Contiguous and PS-InSAR: Quality Assessment Based on Precision and Reliability*. Santorini, Greece, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements.
- Hilley, G. et al., 2004. Dynamics of Slow-moving Landslides From Permanent Scatterer Analysis. *Science*, pp. 1952-1956.
- Holzner, J. & Bamler, R., 2002. Burst-Mode and ScanSAR Interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Volume 40, pp. 1917-1934.
- Hooper, A., 2008. A Multi-temporal InSAR Method Incorporating Both Persistent Scatterer and Small Baseline Approaches. *Geophysical Research*, Volume 35.
- Hooper, A., Segall, P. & Zebker, H., 2007. Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcan Alcedo, Galapagos. *Journal of Geophysical Research*, Volume 34.
- Hooper, G., Zebker, H., Segall, P. & Kampes, B., 2004. A New Method for Measuring Deformation on Volcanoes and Other Natural Terrains Using InSAR Persistent Scatterers. *Geophysical Research*, Volume Letters 31, p. L23611.
- Hu, J. et al., 2014. Resolving Three-Dimensional Surface Displacements from InSAR Measurements: A Review. *Earth-Science Reviews*, Volume 133, pp. 1-17.
- Kampes, B. M., 2005. Radar Interferometry: Persistent Scatterer Technique. *Springer Dordrecht*, Volume 211, p. ..
- Kim, S. W. et al., 2010. Measurements and Predictions of Subsidence Induced by Soil Consolidation Using Persistent Scatterer InSAR and a Hyperbolic Model. *Geophys*, Volume L05304, p. 37.

- Krisnayanti, B. D. & Agustawijaya, D. S., 2014. Characteristics of Lusi Mud Volcano and Its Impacts on the Porong River. *Degrade Min. Land Manage*, Volume 1 (4), pp. 207-210.
- Kurniawan, A., Muhammad, T. & Handoko, E. H., 2011. *Studi Penurunan Muka Tanah Kota Surabaya Menggunakan GPS*. Surabaya: Teknik Geomatika, FTSP, ITS.
- Lauknes, T. R. et al., 2006. *A Comparison of SBAS dan PS ERS InSAR For Subsidence Monitoring in Oslo, Norway*, Norway: s.n.
- Lusch, D. P., 1999. Dalam: *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan State University: Center For Remote Sensing and Geographic Information Science.
- Lusch, D. P., 1999. *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Dalam: Michigan State University: Center For Remote Sensing and Geographic Information Science.
- Lyons, S. & Sandwell, D., 2003. Fault Creep Along The Southern San Andreas from Interferometric Synthetic Aperture Radar, Permanent Scatterers and Stacking. *Journal of Geophysics* 108, doi: 10.1029/2002JB001831. issn: 0148-0227.
- Lyons, S. & Sandwell, D., 2003. Fault Creep Along The Southern San Andreas from Interferometric Synthetic Aperture Radar, Permanent Scatterers, and Stacking. *Journal of Geophysical Research*, Volume 108(B1), pp. 2047-2070.
- Marbouti, M. et al., 2017. A Study of Landfast Ice with Sentinel-1A Repeat-Pass Interferometry over The Baltic Sea. *Remote Sensing*, Volume 9, p. 833.
- Massonet, D. & Feigl, K. L., 1998. Radar Interferometry and Its Applications to Change In The Earth's Surface. *Geophys*, Volume 36 (4), pp. 441-500.
- Massonet, D., Briole, P. & Arnaud, A., 1995. Deflation of Mount Etna Monitored by Spaceborne Radar Interferometry. *Nature*, Volume 375, pp. 567-70.
- Massonet, D., Holzer, T. & Vadon, H., 1997. Land Subsidence Caused by the East Mesa Geothermal Field, California, Observed using SAR Interferometry. *Geophysic.Res.Lett*, Volume 24, pp. 901-4.
- Mellors, R., 2013. *Filtering, Unwrapping, and Geocoding*, s.l.: Unavco.
- Mochammad, M. & Saepuloh, A., 2017. *Analysis of Surface Deformation with SBAS InSAR Method and Its Relationship with Aquifer Occurrence in Surabaya City, East Java, Indonesia*. s.l., IOP.
- Monti Guarnieri, A. et al., 1992. *Developments in ERS-1 SAR Interferometry*. Frascati, Italia, Proc.of 1st Workshop FRINGE, ESA-ESRIN.
- Murakami, M. et al., 1996. Coseismic Crustal Deformations of The 1994 Northridge, California, Earthquake Detected by Interferometric JERS 1 Synthetic Aperture Radar. *Geophys*, Volume 101, pp. 8605-8614.

- Noviyanto, A., 2018. *Reklamasi Surabaya Paling Parah dengan Modus Hutan Mangrove*. [Online] Available at: <https://nusantara.news/reklamasi-surabaya-paling-parah-dengan-modus-hutan-mangrove/> [Diakses 25 07 2018].
- Peltzer, G., Crampe, F., Hensley, S. & Rosen, P., 2001. Transient Strain Accumulation and Fault Interaction in The Eastern California Shear Zone. *Geology*, Volume 29, pp. 975-978.
- Perissin, D. & Wang, T., 2010. Time-Series InSAR Applications Over Urban Areas in China. *IEEE*, 4(1).
- Pitoko, R. A., 2016. *Kompas*. [Online] Available at: <http://properti.kompas.com/read/2016/07/12/180000721/Apartemen.di.Surabaya.Bertambah.2.872.Unit>[Diakses Kamis Januari 2017].
- Potin, P., 2017. Sentinel-1 Mission Overview. *4th Advanced Course on Radar Polarimetry*, 2 February.
- Prastyo, E., 2012. *suarasurabaya.net*. [Online] Available at: <http://kelanakota.suarasurabaya.net/news/2012/101972-Pakar-Geologi-:-Waspadai-Amblesan-di-Seluruh-Bibir-Bozem-Morokrembangan-!> [Diakses 17 7 2018].
- Prati, C., Ferretti, A. & Perissin, D., 2010. Recent Advances on Surface Ground Deformation Measurement ny Means of Repeated Space-borne SAR Observation. *Journal of Geodynamics*, Volume 49, pp. 161-170.
- Prati, C., Rocca, F. & Monti Guarnieri, A., 1994. Topographic Capabilities of SAR Exemplified with ERS-1. *Geo-Information Systems*, 7(1), pp. 17-22.
- Prati, C., Rocca, F., Monti Guarnieri, A. & Damonti, E., 1990. Seismic Migration for SAR Focusing: Interferometrical Applications. *IEEE Transaction on GARS*, 28(4), pp. 627-640.
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- Raymond, D. & Rudant, J., 1997. ERSI-SAR Interferometry; Potential and Limits for Mining Subsidence Detection. *3rd ERS Workshop (Florence)* <http://florence97.ERS-symposium.org/>.
- Reddish, D. J. & Whittaker, B. N., 1989. *Subsidence: occurrence, prediction, and control*. Volume 56 penyunt. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Rocca, F., Prati, C. & Ferretti, A., 2014. *An Overview of SAR Interferometry*. [Online] Available at: <http://earth.esa.int/workshops/ers97/program-details/speeches/rocca-et-al/> [Diakses 13 March 2018].
- Rodriguez, E. & Martin, J. M., 1992. Theory and Design of Interferometric Synthetic Aperture Radars. *IEE Proceedings-F*, 139(2), pp. 147-159.
- Rosen, P. A. et al., 2000. Synthetic Aperture Radar Interferometry. *IEEE*, Volume 88, pp. 333-376.

- Rosytha , A., 2016. Studi Dampak Pengembangan Pemukiman Di Wilayah Pesisir Surabaya Timur. *Agregat*, Volume 1, pp. 38-43.
- Sandwell, D. et al., 2011. Open Radar Interferometry Software For Mapping Surface Deformation. *Eos*, 92(8), pp. 234-235.
- Sandwell, D. et al., 2011. *GMTSAR: An InSAR Processing System Based on Generic Mapping Tools*. San Diego, California: Institution of Oceanography.
- Schmidt, D. A. & Burgmann, R., 2003. Time-dependent land uplift and subsidence in the Santa Clara valley, California, from a large interferometric synthetic aperture radar data set. *Journal of Geophysical*, Volume 108 (B9), p. 2416.
- Schubert, A. et al., 2015. Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning. *Remote Sens*, Volume 7, pp. 9431-9449.
- Shanker, P., Casu, F., Zebker, H. A. & Lanari, R., 2011. Comparison of Persistent Scatterers and Small Baseline Time-Series InSAR Results: A Case Study of the San Francisco Bay Area. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, Volume 8 No 4, pp. 592-596.
- Sharav, A., 2013. *Differential SAR Interferometry for Crustal Deformation Study*, Enschede, Netherland: International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation.
- S, K. A. & Santosa, B. J., 2016. Identifikasi Pola Persebaran Sumber Lumpur Bawah Tanah pada Mud Volcano Gunung Anyar Rungkut Surabaya Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Volume 5 (1), pp. 2337-3520.
- Sophian, I. R., 2010. Penurunan Tanah di Kota-kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus: Kota Semarang). *Bulletin of Scientific Contribution*, Volume 8 No.1, pp. 1-6.
- Sowter, A. et al., 2016. Maxico City Land Subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS:Result Using The Intermittent SBAS (ISBAS) Technique. *International Journal of Applied Earth bservation and Geoinformation*, Volume 52, pp. 230-242.
- 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.
- Supriyanto, 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. 1 penyunt. Jakarta: Departemen Fisika-FMIPA, Universitas Indonesia.
- Tarikhi, P., 2010. *Synthetic Aperture Radar Persistent Scatterer Interferometry (PSInSAR)*, Tunis, Tunisia: ISNET/CRTEAN Training Course.
- Thayer, G. D., 1974. An Improved Equation for The Radio Refractive Index of Air. *Radio Science*, Volume 9, pp. 803-807.

- Tomas, R., Herrera, G., Cooksley, G. & Mulas, J., 2011. Persistent Scatterer Interferometry Subsidence Data Exploitation Using Spatial Tools: The Vega Media of The Segura River Basin Case Study. *Hydrol*, Volume 400, pp. 411-428.
- Tomiyama, N., 2010. *Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry and Agriculture*. 6-10 November penyunt. Hanoi, Vietnam: ISPRS Students Consorsium and WG VI/5 5th Summer School.
- Tomiyama, N., 2010. *Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry and Agriculture (6-10 November ed.)*. Hanoi, Vietnam, ISPRS Students Consorsium and WG VI/5 5th Summer School.
- Tong, X. & Schimdt, D., 2016. Active Movement of The Cascade Landslide Complex in Washington from A Coherence-based InSAR Time Series Method. *Remote Sensing of En ironment*, Volume 186, pp. 405-415.
- Veci, L., 2015. TOPS Interferometry Tutorial. Dalam: *Sentinel-1 Toolbox*. s.l.:Array Systems Computing, p. 12.
- Wegmuller, U., Werner, C., Strozzi, T. & Wiesmann, A., 2006. *Application od SAR Interferometric Techniques For Surface Deformation Monitoring*. Baden, Germany, 3rd IAG/ 12th FIG Symposium.
- Wessel, P. & J, F. L., 2017. The GMT/MATLAB Toolbox. *Geochem.Geophys.Geosyst*, Volume 18, pp. 811-823.
- Xiong, S., Muller, J.-P. & Li, G., 2017. The Application of ALOS/PALSAR InSAR to Measure Subsurface Penetration Depths in Deserts. *Remote Sens*, Volume 9 (6), p. 638.
- Xu, B. et al., 2016. Coastal Subsidence Monitoring Associated with Land Reclamation Using The Point Target Based SBAS-INSAR Method: A Case Study of Shenzhen, China. *Remote Sens*, Volume 8, p. 652.
- Yague-Martinez, N. et al., 2016. Interferometric Processing of Sentinel-1 TOPS Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, Volume 54, pp. 2220-2234.
- Yan, Y. et al., 2012. Mexico City Subsidence Measured by InSAR Time Series: Joint Analysis Using PS and SBAS Approaches. *IEEE J. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, pp. 1312-1326.
- Yulaikhah, 2010. *Model Estimasi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Wilayah DKI Jakarta Berdasarkan Tinggi dan Pengukuran Sipat Datar*. Bandung: ITB.
- Zebker, H. A., Rosen, P. A. & Hensley, S., 1997. Atmospheric Effects in Interferometric Synthetic Aperture Radar Surface Deformation and Topographic Maps. *Journal of Geophysic*, Volume 102, pp. 7547-7563.
- Zebker, H. A. & Villasenor, J., 1992. Decorrelation in Interferometric Radar Echoes. *IEEE Trans*, Volume 30, pp. 950-959.
- Zhou, L. et al., 2017. Wuhan Surface Subsidence Analysis in 2015-2016 Based on Sentinel-1A Data by SBAS-InSAR. *Remote Sens*, Volume 8, p. 982.

Zhou, X., Chang, N.-B. & Li, S., 2009. Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research. *Remote Sens*, Volume 9, pp. 1876-1912.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

1. PRE PROCESSING SCRIPT

```
#!/bin/csh -f
#
# Script to batch pre-process a Sentinel-1a TOPS mode
data sets.
#
#   Xiaohua(Eric) Xu
#   June 2016
#
# First, prepare the files
#rm -rf raw
mkdir raw2
cd raw2
# in order to correct for Elevation Antenna Pattern
Change, cat the manifest and aux files to the xmls
# delete the first line of the manifest file as it's
not a typical xml file.
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20150525_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20150525t104950-
20150525t105007-006076-007dda-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20150525t104950-20150525t105007-006076-007dda-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20150618_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20150618t104951-
20150618t105008-006426-0087e4-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20150618t104951-20150618t105008-006426-0087e4-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20150712_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20150712t104951-
20150712t105008-006776-00919e-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20150712t104951-20150712t105008-006776-00919e-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20150829_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20150829t104954-
20150829t105011-007476-00a503-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20150829t104954-20150829t105011-007476-00a503-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20150922_manifest.safe > tmp_file
```

```

cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20150922t104955-
20150922t105012-007826-00ae6a-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20150922t104955-20150922t105012-007826-00ae6a-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20151016_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20151016t104955-
20151016t105012-008176-00b7d7-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20151016t104955-20151016t105012-008176-00b7d7-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20151109_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20151109t104955-
20151109t105012-008526-00c12b-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20151109t104955-20151109t105012-008526-00c12b-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20151227_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20151227t104948-
20151227t105005-009226-00d4da-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20151227t104948-20151227t105005-009226-00d4da-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160120_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20160120t104947-
20160120t105004-009576-00dee0-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20160120t104947-20160120t105004-009576-00dee0-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160213_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20160213t104947-
20160213t105004-009926-00e916-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20160213t104947-20160213t105004-009926-00e916-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160308_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20160308t104947-
20160308t105004-010276-00f325-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20160308t104947-20160308t105004-010276-00f325-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160425_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20160425t104948-
20160425t105005-010976-0107bf-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20160425t104948-20160425t105005-010976-0107bf-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160519_manifest.safe > tmp_file

```

```

cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20160519t104952-
20160519t105009-011326-0112ea-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20160519t104952-20160519t105009-011326-0112ea-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160612_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20160612t104954-
20160612t105011-011676-011e1b-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20160612t104954-20160612t105011-011676-011e1b-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160706_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20160706t104955-
20160706t105012-012026-012940-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20160706t104955-20160706t105012-012026-012940-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160823_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20160823t104958-
20160823t105015-012726-014057-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20160823t104958-20160823t105015-012726-014057-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20160916_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20160916t104959-
20160916t105016-013076-014bd8-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20160916t104959-20160916t105016-013076-014bd8-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20161010_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20161010t104959-
20161010t105016-013426-01571d-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20161010t104959-20161010t105016-013426-01571d-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20161127_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20161127t104959-
20161127t105015-014126-016ce0-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20161127t104959-20161127t105015-014126-016ce0-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20161221_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iw1-slc-vv-20161221t104958-
20161221t105015-014476-0177e3-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iw1-slc-vv-
20161221t104958-20161221t105015-014476-0177e3-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170114_manifest.safe > tmp_file

```

```

cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170114t104956-
20170114t105013-014826-01829b-001.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170114t104956-20170114t105013-014826-01829b-001.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170315_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170315t104941-
20170315t105009-015701-019d77-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170315t104941-20170315t105009-015701-019d77-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170420_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170420t104943-
20170420t105011-016226-01ad46-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170420t104943-20170420t105011-016226-01ad46-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170526_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170526t104944-
20170526t105012-016751-01bd45-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170526t104944-20170526t105012-016751-01bd45-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170619_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170619t104946-
20170619t105014-017101-01c81c-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170619t104946-20170619t105014-017101-01c81c-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170725_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170725t104948-
20170725t105016-017626-01d806-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170725t104948-20170725t105016-017626-01d806-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170818_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170818t104949-
20170818t105017-017976-01e2a8-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170818t104949-20170818t105017-017976-01e2a8-004.xml
awk 'NR>1 {print $0}' <
../raw_orig/20170911_manifest.safe > tmp_file
cat ../raw_orig/sla-iwl-slc-vv-20170911t104950-
20170911t105018-018326-01ed66-004.xml tmp_file
../raw_orig/sla-aux-cal.xml > ./sla-iwl-slc-vv-
20170911t104950-20170911t105018-018326-01ed66-004.xml
rm tmp_file
ln -s ../raw_orig/*EOF .

```



```

ln -s ../raw_orig/*tiff .
ln -s ../topo/dem.grd .
#
# start batch preprocessing
#
echo "sla-iwl-slc-vv-20160612t104954-20160612t105011-
011676-011e1b-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160702T121533_V20160611T
225943_20160613T005943.EOF" > data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20150525t104950-20150525t105007-
006076-007dda-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150615T122710_V20150524T
225944_20150526T005944.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20150618t104951-20150618t105008-
006426-0087e4-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150708T122802_V20150617T
225944_20150619T005944.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20150712t104951-20150712t105008-
006776-00919e-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150801T122402_V20150711T
225943_20150713T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20150829t104954-20150829t105011-
007476-00a503-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20150918T122327_V20150828T
225943_20150830T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20150922t104955-20150922t105012-
007826-00ae6a-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20151012T122334_V20150921T
225943_20150923T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20151016t104955-20151016t105012-
008176-00b7d7-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20151105T122521_V20151015T
225943_20151017T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20151109t104955-20151109t105012-
008526-00c12b-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20151129T122254_V20151108T
225943_20151110T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20151227t104948-20151227t105005-
009226-00d4da-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160116T121734_V20151226T
225943_20151228T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160120t104947-20160120t105004-
009576-00dee0-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160209T121605_V20160119T
225943_20160121T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160213t104947-20160213t105004-
009926-00e916-

```

001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160304T121427_V20160212T
225943_20160214T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160308t104947-20160308t105004-
010276-00f325-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160328T121503_V20160307T
225943_20160309T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160425t104948-20160425t105005-
010976-0107bf-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160515T121453_V20160424T
225943_20160426T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160519t104952-20160519t105009-
011326-0112ea-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160608T121451_V20160518T
225943_20160520T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160706t104955-20160706t105012-
012026-012940-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160726T121532_V20160705T
225943_20160707T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160823t104958-20160823t105015-
012726-014057-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20160912T121525_V20160822T
225943_20160824T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20160916t104959-20160916t105016-
013076-014bd8-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20161006T122702_V20160915T
225943_20160917T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20161010t104959-20161010t105016-
013426-01571d-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20161030T122744_V20161009T
225943_20161011T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20161127t104959-20161127t105015-
014126-016ce0-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20161217T121436_V20161126T
225943_20161128T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20161221t104958-20161221t105015-
014476-0177e3-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170110T121347_V20161220T
225943_20161222T005943.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170114t104956-20170114t105013-
014826-01829b-
001:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170203T121457_V20170113T
225942_20170115T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170315t104941-20170315t105009-
015701-019d77-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170404T121632_V20170314T
225942_20170316T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170420t104943-20170420t105011-
016226-01ad46-

```

004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170510T121523_V20170419T
225942_20170421T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170526t104944-20170526t105012-
016751-01bd45-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170615T121821_V20170525T
225942_20170527T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170619t104946-20170619t105014-
017101-01c81c-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170709T121615_V20170618T
225942_20170620T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170725t104948-20170725t105016-
017626-01d806-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170814T121532_V20170724T
225942_20170726T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170818t104949-20170818t105017-
017976-01e2a8-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20170907T121811_V20170817T
225942_20170819T005942.EOF" >> data.in
echo "sla-iwl-slc-vv-20170911t104950-20170911t105018-
018326-01ed66-
004:S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD_20171001T121522_V20170910T
225942_20170912T005942.EOF" >> data.in
# get the baseline_time plot first, select the
supermaster and mv it to the first line in data.in,
save the baseline_table.dat for sbas use.
#preproc_batch_tops.csh data.in dem.grd 1
preproc_batch_tops.csh data.in dem.grd 2
#preproc_batch_tops_esd.csh data.in dem.grd 2
#
# in case there are clear burst boundaries, use
preproc_batch_tops_esd.csh instead
#
#mv baseline_table.dat ../
#
cd ..

```

2. PROCESSING SCRIPT

```
#!/bin/csh -f
#
# Script to batch process Sentinel-1a TOPS mode data
sets.
#
#   Xiaohua(Eric) Xu
#   June 2016
#
#
# First, create the files needed for intf_tops.csh
#
rm -f intf.in
rm -r intf intf_all
echo "S1A20150525_ALL_F1:S1A20150618_ALL_F1" > intf.in
echo "S1A20150525_ALL_F1:S1A20150712_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150525_ALL_F1:S1A20150829_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150618_ALL_F1:S1A20150712_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150618_ALL_F1:S1A20150829_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150618_ALL_F1:S1A20150922_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150712_ALL_F1:S1A20150829_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150712_ALL_F1:S1A20150922_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150712_ALL_F1:S1A20151016_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150829_ALL_F1:S1A20150922_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150829_ALL_F1:S1A20151016_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150829_ALL_F1:S1A20151109_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150922_ALL_F1:S1A20151016_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150922_ALL_F1:S1A20151109_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20150922_ALL_F1:S1A20151227_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151016_ALL_F1:S1A20151109_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151016_ALL_F1:S1A20151227_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151016_ALL_F1:S1A20160120_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151109_ALL_F1:S1A20151227_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151109_ALL_F1:S1A20160120_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151109_ALL_F1:S1A20160120_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151227_ALL_F1:S1A20160120_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151227_ALL_F1:S1A20160213_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20151227_ALL_F1:S1A20160308_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160120_ALL_F1:S1A20160213_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160120_ALL_F1:S1A20160308_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160120_ALL_F1:S1A20160425_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160120_ALL_F1:S1A20160425_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160213_ALL_F1:S1A20160308_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160213_ALL_F1:S1A20160425_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160213_ALL_F1:S1A20160519_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160308_ALL_F1:S1A20160425_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160308_ALL_F1:S1A20160519_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160308_ALL_F1:S1A20160612_ALL_F1" >> intf.in
```

```

echo "S1A20160425_ALL_F1:S1A20160519_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160425_ALL_F1:S1A20160612_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160425_ALL_F1:S1A20160706_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160519_ALL_F1:S1A20160612_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160519_ALL_F1:S1A20160706_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160519_ALL_F1:S1A20160823_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160612_ALL_F1:S1A20160706_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160612_ALL_F1:S1A20160823_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160612_ALL_F1:S1A20160916_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160706_ALL_F1:S1A20160823_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160706_ALL_F1:S1A20160916_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160706_ALL_F1:S1A20161010_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160823_ALL_F1:S1A20160916_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160823_ALL_F1:S1A20161010_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160823_ALL_F1:S1A20161127_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160916_ALL_F1:S1A20161010_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160916_ALL_F1:S1A20161127_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20160916_ALL_F1:S1A20161221_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161010_ALL_F1:S1A20161127_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161010_ALL_F1:S1A20161221_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161010_ALL_F1:S1A20170114_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161127_ALL_F1:S1A20161221_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161127_ALL_F1:S1A20170114_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161127_ALL_F1:S1A20170315_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161221_ALL_F1:S1A20170114_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20161221_ALL_F1:S1A20170315_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170114_ALL_F1:S1A20170420_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170315_ALL_F1:S1A20170420_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170315_ALL_F1:S1A20170526_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170420_ALL_F1:S1A20170526_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170420_ALL_F1:S1A20170619_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170420_ALL_F1:S1A20170725_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170526_ALL_F1:S1A20170619_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170526_ALL_F1:S1A20170725_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170526_ALL_F1:S1A20170818_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170619_ALL_F1:S1A20170725_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170619_ALL_F1:S1A20170818_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170619_ALL_F1:S1A20170911_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170725_ALL_F1:S1A20170818_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170725_ALL_F1:S1A20170911_ALL_F1" >> intf.in
echo "S1A20170818_ALL_F1:S1A20170911_ALL_F1" >> intf.in
#
# Process the interferograms, remember to set your
# super master in the batch_tops.config file.
#
intf_tops.csh intf.in batch_tops.config
#

```

```
# After this is done, check the interferograms. You'll
find there being a discontinuity in some of the
interferograms
# This can be resolved by using
preproc_batch_tops_esd.csh. Modify the README_prep.csh
and see what happens
#
# Also note the ESD may not always make your results
better.
```

3. BATCH_TOPS.CONFIG

```
#
# This is an example configuration file for batch
processing
#
# all the comments or explanations are marked by "#"
# The parameters in this configuration file is
distinguished by their first word so
# user should follow the naming of each parameter.
# the parameter name, = sign, parameter value should be
separated by space " ".
# leave the parameter value blank if using default
value.
#

#####
# processing stage for intf_batch.csh #
#####
# 1 - start from make topo_ra
# 2 - start from make and filter interferograms, unwrap
and geocode
proc_stage = 1

# the namestem of the master image - REQUIRED
master_image = S1A20160612_ALL_F1

#####
# parameters for preprocess #
# - pre_proc_batch.csh #
# following 4 parameters are OPTIONAL #
#####
# num of patches
num_patches =

# earth radius
earth_radius =

# near_range
near_range =

# Doppler centroid
fdl =

#####
# parameters for make topo_ra #
# - dem2topo_ra.csh #
#####
# subtract topo_ra from the phase
```

```

# (1 -- yes; 0 -- no)
topo_phase = 1
# if above parameter = 1 then one should have put
DEM.grd in topo/

# topo_ra shift (1 -- yes; 0 -- no)
shift_topo = 0

#####
# parameters for make and filter interferograms #
# - intf.csh #
# - filter.csh #
#####

# filters
# look at the filter/ folder to choose other filters
filter_wavelength = 100

# decimation of images
# decimation control the size of the amplitude and
phase images. It is either 1 or 2.
# Set the decimation to be 1 if you want higher
resolution images.
# Set the decimation to be 2 if you want images with
smaller file size.
#
dec_factor = 2

#####
# parameters for unwrap phase #
# - snaphu.csh #
#####
# correlation threshold for snaphu.csh (0~1)
# set it to be 0 to skip unwrapping.
threshold_snaphu = 0.2

# region to unwrap in radar coordinates (leave it blank
if unwrap the whole region)
# example format 500/10800/500/27200 - OPTIONAL
region_cut = 11000/20500/0/4000

# use landmask (1 -- yes; else -- no)
switch_land = 0

#
# Allow phase discontinuity in unrapped phase. This is
needed for interferograms having sharp phase jumps.

```



```
# defo_max = 0 - used for smooth unwrapped phase such
as interseismic deformation
# defo_max = 65 - will allow a phase jump of 65 cycles
or 1.82 m of deformation at C-band
#
defomax = 0

#####
#   parameters for geocode           #
#   - geocode.csh                   #
#####
# correlation threshold for geocode.csh (0~1)
threshold_geocode = .1
```

4. SBAS PROCESSING

```
#!/bin/bash
#####
#####
#   Xiaohua(Eric) Xu
#   June 2016
# 04
# script to prepare directory and process SBAS
# GMT5SAR processing for sentinel1A/B
# 2017.02.28 "Noorlaila Hayati"
# email: n.isya@tu-braunschweig.de or
noorlaila@geodesy.its.ac.id
# correct: Bparalel --> Bperpendicular
#####
#####

    if [[ $# -ne 2 ]]; then
        echo ""
        echo "Usage: prep_proc_SBAS.sh data.tab mode"
        echo ""
        echo "  script to prepare directory and process
SBAS"
        echo ""
        echo "  example : prep_proc_SBAS.sh data.tab 1"
        echo ""
        echo "  format of data.tab:"
        echo "                master_id slave_id"
        echo ""
        echo "  Mode: 1 Prepare SBAS file (intf.tab
scene.tab)"
        echo "        2 run SBAS"
        echo ""
        exit 1
    fi

# use data.tab on intf_all path

mode=$2
echo "mode -->" $mode

if [ $mode -eq 1 ]; then
rm -rf SBAS
mkdir SBAS

shopt -s extglob
IFS=" "
while read master slave
do
```

```

cd intf_all/"$master"_"$slave"
#rm unwrap.grd

#crop corr.grd to match with unwrap.grd
region=$(grep region_cut ../../batch_tops.config | awk
'{print $3}')
gmt grdcut corr.grd -Gcorr_crop.grd -R$region -V

ls *.PRM > tmp2
master_prm=$(head -n 1 tmp2)
slave_prm=$(head -n 2 tmp2 | tail -n 1)

#echo $master_prm $slave_prm > tmp
SAT_baseline "$master_prm" "$slave_prm" > tmp

BPR=$(grep B_perpendicular tmp | awk '{print $3}')
rm tmp*

#make intf.tab file
cd ../../SBAS
echo ../intf_all/"$master"_"$slave"/unwrap.grd
../intf_all/"$master"_"$slave"/corr_crop.grd $master
$slave $BPR >> intf.tab
ln -f -s ../intf_all/"$master"_"$slave"/unwrap.grd .
cd ..
done < "$1"

cd SBAS
#make scene.tab file
awk '{print int($2),$3}' ../raw_orig/baseline_table.dat
>> scene.tab
cd ..
fi

if [ $mode -eq 2 ]; then
cd SBAS
xdim=$(gmt grdinfo -C unwrap.grd | awk '{print $10}')
ydim=$(gmt grdinfo -C unwrap.grd | awk '{print $11}')
n_int=$(wc -l < intf.tab)
n_scn=$(wc -l < scene.tab)
#run SBAS
sbas intf.tab scene.tab $n_int $n_scn $xdim $ydim -
smooth 1.0 -wavelength 0.0554658 -incidence 30 -range
800184.946186 -rms -dem

# project the velocity to Geocoordinates
#

```

```

ln -s ../topo/trans.dat .
proj_ra2ll.csh trans.dat vel.grd vel_ll.grd
gmt grd2cpt vel_ll.grd -T= -Z -Cjet > vel_ll.cpt
grd2kml.csh vel_ll vel_ll.cpt

# view disp.grd
rm *.jpg *.ps disp.tab
ls disp_0* > disp.tab

shopt -s extglob
IFS=" "
while read disp;
do
gambar="$disp".ps
gmt grdimage $disp -Cvel_ll.cpt -JX6i -Bx1000 -By250 -
BWeSn -P -K > $gambar
gmt psscale -D1.3c/-1.2c/5c/0.2h -Cvel_ll.cpt -B30:"LOS
displacement, mm":/:"range decrease": -P -J -O -X4 -Y20
>> $gambar

ps2raster $gambar -Tj -E100
#echo $disp
done < disp.tab

fi

```

5. BASELINE_TABLE.DAT

S1A20160612_ALL_F1	2016163.4513241982	875	0.000000	0.000000
S1A20150525_ALL_F1	2015144.4512761328	500	5.333601	-23.098251
S1A20150618_ALL_F1	2015168.4512911614	524	27.140309	34.950250
S1A20150712_ALL_F1	2015192.4512962443	548	23.061542	64.635699
S1A20150829_ALL_F1	2015240.4513280282	596	-19.724662	-17.529177
S1A20150922_ALL_F1	2015264.4513368376	620	4.264546	4.634376
S1A20151016_ALL_F1	2015288.4513408043	644	7.623507	-24.430886
S1A20151109_ALL_F1	2015312.4513356346	668	103.977813	89.925589
S1A20151227_ALL_F1	2015360.4512562882	716	1.238764	-46.703141
S1A20160120_ALL_F1	2016019.4512479506	731	44.098371	28.941504
S1A20160213_ALL_F1	2016043.4512406215	755	45.845408	37.268267
S1A20160308_ALL_F1	2016067.4512417770	779	9.784177	-14.264076
S1A20160425_ALL_F1	2016115.4512610240	827	19.403351	-2.211418
S1A20160519_ALL_F1	2016139.4513060520	851	46.692522	55.402717
S1A20160706_ALL_F1	2016187.4513405054	899	-2.509643	-29.133336
S1A20160823_ALL_F1	2016235.4513700625	947	16.728616	-25.098176
S1A20160916_ALL_F1	2016259.4513796361	971	48.114900	35.430343
S1A20161010_ALL_F1	2016283.4513843174	995	16.691884	-23.890547
S1A20161127_ALL_F1	2016331.4513790696	1043	29.421979	0.148679
S1A20161221_ALL_F1	2016355.4513689957	1067	30.016957	0.554193
S1A20170114_ALL_F1	2017013.4513465858	1081	14.202731	-23.817832
S1A20170315_ALL_F1	2017073.4511808255	1141	-18.030052	-19.420801
S1A20170420_ALL_F1	2017109.4511966305	1177	-3.009560	-22.078201

SlA20170526_ALL_F1	2017145.4512154215	1213	58.616553	
	43.488724			
SlA20170619_ALL_F1	2017169.4512340999	1237	-1.822335	-
	4.548398			
SlA20170725_ALL_F1	2017205.4512582954	1273	35.791533	
	39.941342			
SlA20170818_ALL_F1	2017229.4512726858	1297	5.981605	
	2.791526			
SlA20170911_ALL_F1	2017253.4512838495	1321	23.708088	-
	12.416101			

6. DATA.TAB

2015144 2015168
2015144 2015192
2015144 2015240
2015168 2015192
2015168 2015240
2015168 2015264
2015192 2015240
2015192 2015264
2015192 2015288
2015240 2015264
2015240 2015288
2015240 2015312
2015264 2015288
2015264 2015312
2015264 2015360
2015288 2015312
2015288 2015360
2015288 2016019
2015312 2015360
2015312 2016019
2015360 2016019
2015360 2016043
2015360 2016067
2016019 2016043
2016019 2016067
2016019 2016115
2016043 2016067
2016043 2016115
2016043 2016139
2016067 2016115
2016067 2016139
2016067 2016163
2016115 2016139
2016115 2016163
2016115 2016187
2016139 2016163
2016139 2016187
2016139 2016235
2016163 2016187
2016163 2016235
2016163 2016259
2016187 2016235
2016187 2016259
2016187 2016283
2016235 2016259
2016235 2016283

2016235 2016331
2016259 2016283
2016259 2016331
2016259 2016355
2016283 2016331
2016283 2016355
2016283 2017013
2016331 2016355
2016331 2017013
2016331 2017073
2016355 2017013
2016355 2017073
2017013 2017073
2017013 2017109
2017073 2017109
2017073 2017145
2017109 2017145
2017109 2017169
2017109 2017205
2017145 2017169
2017145 2017205
2017145 2017229
2017169 2017205
2017169 2017229
2017169 2017253
2017205 2017229
2017205 2017253
2017229 2017253

BIOGRAFI PENULIS



SENDY AYU YULYTA. Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara yang dilahirkan di Surabaya, 25 Juli 1993. Penulis menempuh pendidikan mulai dari taman kanak – kanak di TK Bina Putra, Bendul Merisi, Surabaya lalu dilanjutkan jenjang sekolah dasar di SDN Margorejo I/403, Surabaya. Kemudian penulis menempuh sekolah menengah pertama di SMP Negeri 12 Surabaya dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 10 Surabaya. Pada tahun 2011 penulis diterima di Perguruan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) smelalui jalur PMDK Kemitraan dengan pilihan Jurusan Teknik Geomatika. Semasa menjadi mahasiswa dari tahun pertama sampai tahun keempat penulis aktif dalam mengikuti dan menjadi bagian di organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE-ITS), sebagai Sekretaris II HIMAGE-ITS tahun 2012/2013 serta Sekretaris I HIMAGE-ITS 2013/2014. Selain itu penulis juga cukup aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD dan LKMM TD. Dalam menyelesaikan syarat Tugas Akhir jenjang Sarjana, penulis memilih bidang keahlian Geospasial, dengan judul “Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan data ALOS PALSAR Multitemporal Dengan Teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR).” Penulis memiliki pengalaman kerja selama 1 tahun di Kementerian Kelautan dan Perikanan yang berlokasi di Balai Penelitian Observasi Laut (BPOL), Kabupaten Jembrana, Bali sebagai Analis dan Operator Radar untuk *maritime surveillance*. Setelah bekerja, kemudian penulis melanjutkan sekolah jenjang Pascasarjana (S2) di Perguruan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur Beasiswa *Fresh Graduate*. Dalam menyelesaikan syarat Tugas Akhir jenjang Magister, penulis memilih bidang keahlian Geodesi dan Geodinamika, dengan judul “Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1A untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah di Kota Surabaya.”

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”