

**PEMETAAN DAN ANALISIS *LAND SUBSIDENCE*
DI KOTA BANDAR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE
PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SAR PADA CITRA
ALOS-PALSAR DAN SENTINEL-1**

(Skripsi)

Oleh

AZIZ FAJAR SETIAWAN



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

ABSTRACT

MAPPING AND LAND SUBSIDENCE ANALYSIS IN BANDAR LAMPUNG USING PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SAR METHOD ON ALOS PALSAR AND SENTINEL 1 DATASET

By

AZIZ FAJAR SETIAWAN

Bandar Lampung is one of the cities in Indonesia that has the potential to experience land subsidence as a result of human activities and the geological phenomena that occur. Previously, a study of land subsidence with the SBAS method had been conducted for the period 2006-2010. The purpose of this study was to compare the results of the PS and SBAS methods, as well as to identify and analyze land subsidence in Bandar Lampung. This study uses 11 ALOS Palsar data from 2006-2010 and 41 Sentinel 1 data from 2017-2018 which are combined respectively to produce an interferogram for later inversed by the PS algorithm. Point PS (Persistent Scatterer) is chosen based on the Amplitude Dispersion Index and Amplitude Stability Index with the aim to correct atmospheric influences. Based on data analysis, it is known that in the range of 2006-2010 and 2017-2018 there has been an increase in the rate of deformation (land subsidence) on average by 4 mm/year. In some areas, namely in Bakung,

Kangkung, Sukaraja, Way Lunik, and North Panjang. Land subsidence with an average velocity of more than 5 mm/year, where the highest is in Way Lunik (industrial area) with an average velocity 13 mm/year. Land subsidence that occurs is thought to be caused by geological conditions near the surface and human activities such as land conversion and groundwater extraction. The subsequent land subsidence has implications for the occurrence of tidal flooding in coastal areas.

Keyword : Land Subsidence, Bandar Lampung, Persistent Scatterer Interferometry SAR (PSInSAR)

ABSTRAK

PEMETAAN DAN ANALISIS *LAND SUBSIDENCE* DI KOTA BANDAR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SAR* PADA CITRA ALOS PALSAR DAN SENTINEL 1

Oleh

AZIZ FAJAR SETIAWAN

Kota Bandar Lampung merupakan salah satu kota di Indonesia yang berpotensi mengalami *land subsidence* sebagai akibat dari aktivitas manusia serta fenomena geologi yang terjadi. Sebelumnya telah dilakukan studi *land subsidence* dengan metode SBAS untuk periode tahun 2006-2010. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil metode PS dan SBAS, serta untuk mengidentifikasi dan menganalisis *land subsidence* di Kota Bandar Lampung. Penelitian ini menggunakan 11 data ALOS Palsar tahun 2006-2010 dan 41 data Sentinel 1 tahun 2017-2018 yang dikombinasikan masing-masing untuk menghasilkan *interferogram* untuk kemudian diinversi dengan algoritma PS. Titik PS (*Persistent Scatterer*) dipilih berdasarkan *Amplitude Dispersion Index* dan *Amplitude Stability Index* dengan tujuan untuk mengoreksi pengaruh atmosfer. Berdasarkan analisis data, diketahui bahwa pada rentang tahun 2006–2010 serta

2017–2018 telah terjadi peningkatan kecepatan deformasi (*land subsidence*) rata-rata sebesar 4 mm/tahun. Pada beberapa daerah yaitu di Bakung, Kangkung, Sukaraja, Way Lunik, dan Panjang Utara mengalami *land subsidence* dengan kecepatan rata-rata lebih dari 5 mm/tahun, dimana yang tertinggi berada di daerah Way Lunik (kawasan industri) dengan kecepatan rata-rata sebesar 13 mm/tahun. *Land subsidence* yang terjadi diduga disebabkan oleh kondisi geologi dekat permukaan serta aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan dan ekstraksi air tanah. *Land subsidence* yang terjadi kemudian berimplikasi terhadap terjadinya banjir rob di daerah pesisir.

Kata Kunci : *Land Subsidence*, Bandar Lampung, *Persistent Scatterer Interferometry* SAR (PSInSAR)

**PEMETAAN DAN ANALISIS LAND SUBSIDENCE
DI KOTA BANDAR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE
PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SAR PADA CITRA
ALOS-PALSAR DAN SENTINEL-1**

Oleh

Aziz Fajar Setiawan

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

**Judul Skripsi : PEMETAAN DAN ANALISIS LAND
SUBSIDENCE DI KOTA BANDAR
LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN
METODE PERSISTENT SCATTERER
INTERFEROMETRY SAR PADA CITRA
ALOS-PALSAR DAN SENTINEL-1**

Nama Mahasiswa : Aziz Fajar Setiawan

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415051013

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

NIP 19720928 199903 1 001

Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.

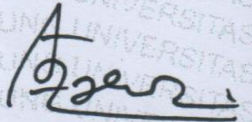
NIP 19750911 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

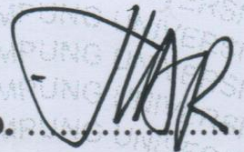
Ketua

: Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.



Sekretaris

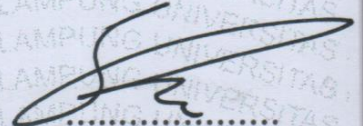
: Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 November 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 November 2019



Aziz Fajar Setiawan

NPM. 1415051013

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Metro, 10 Juni 1996 yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan MS Zamroni Aly dengan Endah Wahyuni. Penulis mengawali pendidikan formal pertama di SDN 4 Metro Barat, Metro pada tahun 2002. Penulis mampu menyelesaikan waktu studi untuk sekolah dasar selama 6 tahun.

Tahun 2008 penulis memasuki jenjang sekolah yang lebih tinggi di SMPN 1 Metro. Jenjang SMP ditempuh oleh penulis dalam waktu 3 tahun. Tahun 2011 penulis menapaki jenjang sekolah yang lebih tinggi lagi di SMAN 3 Metro. Jurusan IPA dipilih oleh penulis dalam menentukan jalur pendidikan yang didalami untuk memperdalam dasar keilmuan yang di cita-citakan, yaitu menjadi seorang *Scientist*. Penulis menempuh pendidikan SMA dalam waktu 3 tahun.

Tahun 2014 penulis menentukan pilihannya pada Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dalam melanjutkan pendidikan. Dilema perkuliahan, pekerjaan, dan kehidupan membuat penulis membutuhkan waktu selama 11 semester untuk menyelesaikan studi. Proses pendewasaan diri dari segala dilema perjalanan yang telah dilalui menjadikan penulis mampu mendapatkan pekerjaan sesuai bidang keilmuan yang dipelajari, sehingga di tahun 2019 yang di cita-citakan oleh penulis tercapai.

“Persembahan”

Penulis persembahkan karya ini untuk

ALLAH SWT

dan

Keluarga tercinta

“Motto hidup”

*Jalani Hidup Apa Adanya dengan Penuh Rasa
Tanggung Jawab*

*Jangan Malu untuk Mengucap Kata Tolong, Maaf dan
Terima Kasih*

- Aziz Fajar Setiawan

SANWACANA

Puji Syukur senantiasa terhanturkan kepada Allah Subhanahu wata'ala, pemilik segala yang ada di langit dan di bumi. Pemilik dari segala pengetahuan, yang dengan izinnya penulis bisa menikmati seujung jarum pengetahuan di antara lautan pengetahuan yang dimiliki-Nya. Dengan kebaikan tersebut penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi “PEMETAAN DAN ANALISIS LAND SUBSIDENCE DI KOTA BANDAR LAMPUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE PERSISTENT SCATTERER INTERFEROMETRY SAR PADA CITRA ALOS-PALSAR DAN SENTINEL-1”. Pula kepada kekasihnya, seorang yang menunjuki setiap umatnya kepada jalan yang baik, Nabi Muhammad Sholallahu ‘alaihi wassalam semoga terhanturkan salawat dan salam serta dukungan kedua orang tua dengan kelembutan kasih sayangnya.

Dalam penelitian ini tentunya penulis melibatkan banyak pihak yang memberikan kontribusi baik berupa dukungan pengetahuan, spiritual dan emosional yang dengan hal tersebut terselesaikanlah penelitian ini. Untuk itu, dihanturkan terimakasih sebesar besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., atas kesediaannya memberikan bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Semoga ilmu yang diberikan menjadi sebuah amal jariyah

yang terus mengalir hingga akhir waktu.

2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D. atas kesediaannya memberikan bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Semoga ilmu yang diberikan menjadi sebuah amal jariyah yang terus mengalir hingga akhir waktu.
3. Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., atas kesediaannya memberikan masukan terbaik sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Semoga ilmu yang diberikan menjadi sebuah amal jariyah yang terus mengalir hingga akhir waktu.
4. Bapak Dr. Rachmat Arief, Dipl. Ing. atas kesediaannya memberikan masukan terbaik sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Semoga ilmu yang diberikan menjadi sebuah amal jariyah yang terus mengalir hingga akhir waktu.
5. Seluruh dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama ini. Semoga tiap waktu yang tercurah selama proses mendidik mahasiswanya diberikan bayaran terbaik dari Allah Subhanahu wata'ala.
6. Ilham Triputra Sofiadin sebagai teman seperjuangan melaksanakan Tugas Akhir dan mengerjakan skripsi. Sukses selalu dan semoga dilimpahi keberkahan dalam kehidupanmu.
7. Teman-teman seperjuangan “TGIF 14”.
8. Teman-temanku sobat “TRONJAL TRONJOL”.
9. Kepada seseorang yang hanya mampu disebut dalam doa, semoga kebahagiaan selalu menemani langkahmu dalam mencapai cita-cita.

10. Seluruh civitas akademika Universitas Lampung.

Pada akhirnya, penulisan skripsi ini tidak mampu mendekati kata sempurna, namun sebuah harapan manis semoga tulisan ini bisa sedikit memberi manfaat kepada semua.

Bandar lampung, 13 Desember 2019

Aziz Fajar Setiawan

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	iii
HALAMAN JUDUL	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
HALAMAN PERNYATAAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	3
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Letak dan Lokasi Penelitian.....	5
B. Morfologi Daerah Penelitian.....	7
C. Geologi Wilayah Bandar Lampung	11
D. Hidrologi	13
 III. TEORI DASAR	
A. Penurunan Muka Tanah (<i>land subsidence</i>).....	17
B. <i>Synthetic Aperture Radar</i>	18
C. <i>Interferometric SAR</i>	25
D. <i>Differential Interferometric SAR</i>	28
E. Statistik Interferogram SAR	29

F. <i>Persistent Scatterer Interferometry</i> SAR (PSInSAR).....	31
G. Perbandingan <i>Persistent Scatterer Interferometry</i> SAR (PSInSAR) dan <i>Small Baseline Subset</i> (SBAS).....	32

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	35
B. Alat dan Bahan.....	35
C. Pengolahan Data	38
D. Diagram Alir.....	62

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengolahan PSInSAR.....	65
B. Korelasi Geologi Terhadap <i>Land Subsidence</i>	68
C. Analisis Hasil PSInSAR dengan Data GPS Geodetik Kota Bandar Lampung.....	78
D. Analisis Hasil PSInSAR dengan Data 4D Microgravity Kota Bandar Lampung.....	82
E. Analisis Penurunan Muka Tanah Terhadap Penggunaan Lahan	85
F. Kompilasi Analisis Faktor Penyebab <i>Land Subsidence</i> di Kota Bandar Lampung.....	108
G. Implikasi <i>Land Subsidence</i> di Kota Bandar Lampung	108

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	112
B. Saran	113

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jumlah Penduduk, Luas Wilayah dan Kepadatan Penduduk Per-Kecamatan Di Kota Bandar Lampung Tahun 2012-2016.....	5
2. Faktor-faktor yang berasosiasi dengan potensi <i>land subsidence</i> di kota- kota di Indonesia	18
3. Karakteristik ALOS PALSAR	22
4. Karakteristik Sentinel-1	25
5. ALOS-PALSAR <i>dataset</i>	36
6. SENTINEL-1 <i>dataset</i>	37
7. Tabel perbandingan nilai PSInSAR dengan GPS Geodetik.....	80
8. Tabel perbandingan nilai PSInSAR dengan 4D <i>Microgravity</i>	84
9. Kompilasi hasil analisis daerah yang terindikasi mengalami penurunan muka tanah (<i>land subsidence</i>) di Kota Bandar Lampung	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Penggunaan Lahan.....	8
2. Peta Geomorfologi Wilayah Bandar Lampung dan Sekitarnya	9
3. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.....	10
4. Peta Klasifikasi Produktifitas Air Tanah	16
5. <i>Synthetic aperture radar</i>	19
6. Resolusi pada arah <i>range</i>	20
7. Ilustrasi Perekaman Citra ALOS Palsar	23
8. Ilustrasi Perekaman Citra Sentinel 1.....	24
9. Teknik InSAR <i>Single Pass</i> (a) dan <i>Repeat Pass</i> (b).....	27
10. Ilustrasi hamburan balik di dalam sebuah citra SAR (a) <i>Point Scatterer</i> . (b) PS dengan satu (atau lebih) hamburan balik yang mendominasi di dalam sebuah piksel SAR. (c) DS dengan banyak hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR tanpa ada yang mendominasi	30
11. Tampilan Muka Software SARPROZ yang Digunakan dalam Pengolahan Data Penelitian	39
12. Urutan Langkah-Langkah Dalam Pengolahan Citra SAR.....	40
13. Tabel Koneksi antar Citra ALOS Palsar.....	41
14. Tabel Koneksi antar Citra Sentinel 1.....	42
15. Refleksi Citra ALOS Palsar.....	43

16.	Refleksi Citra Sentinel 1.....	44
17.	Tampilan menu Mask Generation	44
18.	Koordinat Geografis yang Dijadikan sebagai <i>Ground Control Point</i>	45
19.	Salah Satu Interferogram yang dihasilkan oleh Pasangan <i>Master dan Slave</i>	47
20.	Parameter yang digunakan pada tahap <i>APS Processing</i>	49
21.	Plot <i>Sparse Point Selection</i> dan <i>Delaunay Graph Connection</i> citra Sentinel 1.....	50
22.	Plot <i>Sparse Point Selection</i> dan <i>Delaunay Graph Connection</i> citra ALOS Palsar	51
23.	Plot <i>Sparse Point Selection</i> dan <i>Delaunay Graph Connection</i> citra Sentinel 1.....	52
24.	Plot <i>Sparse Point Selection</i> dan <i>Delaunay Graph Connection</i> citra ALOS Palsar	53
25.	Plot hasil <i>APS Estimation</i> Sentinel 1	54
26.	Plot Koherensi Temporal Sentinel 1 Setelah <i>APS Estimation</i>	55
27.	Plot hasil <i>APS Estimation</i> ALOS Palsar	56
28.	Plot Koherensi Temporal ALOS Palsar Setelah <i>APS Estimation</i>	57
29.	Estimasi Kecepatan Deformasi dari titik PS yang dipilih pada Sentinel 1.....	58
30.	Estimasi Kecepatan Deformasi dari titik PS yang dipilih pada Sentinel 1.....	59
31.	Estimasi Kecepatan Deformasi dari titik PS yang dipilih pada ALOS Palsar	60
32.	Estimasi Kecepatan Deformasi dari titik PS yang dipilih pada ALOS Palsar	61
33.	Diagram Alir Pengolahan Citra ALOS Palsar	62

34.	Diagram Alir Pengolahan Citra Sentinel 1	63
35.	Diagram Alir Perbandingan dan Analisis Hasil ALOS Palsar dan Sentinel 1	64
36.	Peta Kecepatan Deformasi Rata-Rata Tahun 2006-2010	65
37.	Peta Kecepatan Deformasi Rata-Rata Tahun 2017-2018	66
38.	Histogram Kecepatan Deformasi Kota Bandar Lampung Hasil PSInSAR Citra ALOS Palsar (2006-2010)	67
39.	Histogram Kecepatan Deformasi Kota Bandar Lampung Hasil PSInSAR Citra Sentinel 1 (2017-2018).....	67
40.	<i>Overlay</i> Informasi Kecepatan Deformasi Hasil PSInSAR ALOS Palsar Kota Bandar Lampung pada Data Geologi	69
41.	<i>Overlay</i> Informasi Kecepatan Deformasi Hasil PSInSAR Sentinel 1 Kota Bandar Lampung pada Data Geologi	70
42.	Irisan Penampang Geologi dan Kecepatan Deformasi pada Penampang a – a’	72
43.	Irisan Penampang Geologi dan Kecepatan Deformasi pada Penampang b – b’	74
44.	Irisan Penampang Geologi dan Kecepatan Deformasi pada Penampang c – c’	76
45.	Irisan Penampang Geologi dan Kecepatan Deformasi pada Penampang d – d’	77
46.	Peta <i>Land Subsidence</i> Bandar Lampung Hasil Pengukuran GPS Geodetik 2017-2018.....	78
47.	<i>Overlay</i> Peta <i>Land Subsidence</i> GPS dengan PSInSAR Sentinel 1	79
48.	Grafik Perbandingan Nilai PSInSAR dengan Nilai GPS Geodetik	81
49.	Peta 4D <i>Microgravity</i> Bandar Lampung Periode 2017 – 2018	82
50.	<i>Overlay</i> Peta 4D <i>Microgravity</i> dengan PSInSAR Sentinel 1	83
51.	Lokasi Observasi pada daerah yang terindikasi mengalami <i>land subsidence</i> (Citra ALOS Palsar 2006-2010)	86

52.	Lokasi Observasi pada daerah yang terindikasi mengalami <i>land subsidence</i> (Citra Sentinel 2017-2018)	87
53.	Citra Google Earth Lokasi A; (a) akuisisi citra Tahun 2006, (b) akuisisi citra Tahun 2012, (c) akuisisi citra Tahun 2017, dan (d) akuisisi citra Tahun 2018	88
54.	Kondisi Pemukiman Dilihat dari Puncak Bukit di Lokasi A.....	89
55.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi A periode 2006 – 2010 (Kelurahan Bakung, Telukbetung Barat).....	90
56.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi A periode 2017 – 2018 (Kelurahan Bakung, Telukbetung Barat).....	91
57.	Kerusakan Bangunan di Wilayah Pasar Kangkung.....	93
58.	Citra Google Earth Lokasi D; (a) akuisisi citra Tahun 2001, (b) akuisisi citra Tahun 2012, (c) akuisisi citra Tahun 2017, dan (d) akuisisi citra Tahun 2018	93
59.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi B periode 2006 – 2010 (Kelurahan Kangkung, Telukbetung Selatan)	94
60.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi B periode 2017 – 2018 (Kelurahan Kangkung, Telukbetung Selatan)	95
61.	Citra Google Earth Lokasi C; (a) akuisisi citra Tahun 2001, (b) akuisisi citra Tahun 2012, (c) akuisisi citra Tahun 2017, dan (d) akuisisi Tahun 2018	97
62.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi C periode 2006 – 2010 (area reklamasi dekat Jalan Yos Sudarso, Telukbetung Selatan).....	98
63.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi C periode 2017 – 2018 (area reklamasi dekat Jalan Yos Sudarso, Telukbetung Selatan).....	99
64.	Citra Google Earth Lokasi D; (a) akuisisi citra Tahun 2001, (b) akuisisi citra Tahun 2012, (c) akuisisi citra Tahun 2017, dan (d) akuisisi citra Tahun 2018	100
65.	Jejak Penurunan Muka Tanah pada Tiang Listrik	101
66.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi D periode 2006 – 2010 (wilayah Panjang)	102

67.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi D periode 2017 – 2018 (wilayah Panjang)	103
68.	Citra Google Earth Lokasi E; (a) akuisisi citra Tahun 2012, (b) akuisisi citra Tahun 2017, (c) akuisisi citra Tahun 2018	104
69.	Rekahan pada Dinding Bangunan (a) serta Kerusakan Lantai Teras Rumah (b)	105
70.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi E periode 2006 – 2010 (Kelurahan Panjang Utara)	106
71.	Grafik kecepatan <i>land subsidence</i> di lokasi E periode 2017 – 2018 (Kelurahan Panjang Utara)	107
72.	Banjir rob di kawasan pesisir Kota Bandar Lampung; (a) Kelurahan Sukaraja, Senin 4 Desember 2017 (Tribun Lampung/Perdiansyah), (b) Kelurahan Panjang Utara, Sabtu 9 Maret 2019 (Radar Lampung/Alam Islam)	109

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) merupakan salah satu bahaya geoteknik yang paling umum terjadi di berbagai kota, yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti konstruksi bawah tanah dan atau ekstraksi air tanah berlebihan serta aktivitas non-manusia (misalnya gempa bumi, patahan) (Bai, dkk., 2016). Peristiwa ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur, terowongan, jalan, jembatan, dan bangunan, yang membuat dampak besar terhadap keselamatan kota (Zhou, dkk., 2017).

Kota Bandar Lampung merupakan kota besar pertama yang dilalui Jalan Lintas Sumatera yang menyambungkan Pulau Jawa dengan Pulau Sumatera. Pada tahun 2010, jumlah penduduk Kota Bandar Lampung mencapai 757.000 jiwa (BPS Prov. Lampung, 2015). Penggunaan lahan di Kota Bandar Lampung didominasi pemukiman, bangunan industri, disusul perkebunan dan ladang. Jumlah industri meningkat sebesar 93,02% dan pemukiman 44% dalam dekade 1999-2010, dimana keduanya merupakan hasil konversi lahan kosong, rawa dan hutan (Utoyo, 2012).

Secara geologi, Kota Bandar Lampung dilalui oleh Sesar Panjang-Lampung dan pada beberapa daerah di kota ini memiliki formasi berumur *holosen*. Dengan kondisi geologi tersebut dan banyaknya kegiatan alih fungsi lahan, ekstraksi air tanah yang berlebihan, reklamasi, serta pertambangan dan industri, tentunya dapat memicu terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*).

Untuk mendapatkan informasi mengenai penurunan muka tanah di suatu wilayah, dapat dilakukan pengukuran geodesi seperti metode sipat datar (*levelling*) dan pengamatan GPS. Namun karena keterbatasan cakupan spasial pada kedua metode tersebut, serta dibutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit, maka dibutuhkan metode komplemen yang dapat mengatasi limitasi tersebut. Oleh karena itu, metode PSInSAR dapat dipilih untuk mempelajari gejala penurunan muka tanah karena memiliki cakupan yang luas secara spasial maupun temporal serta memiliki akurasi yang tinggi (Ferretti, dkk., 2001).

Metode PSInSAR merupakan pengembangan dari teknik konvensional InSAR dan DInSAR. Teknik ini dikembangkan untuk mengatasi permasalahan dekorelasi temporal dan geometrik yang ada di dalam teknik InSAR dan DInSAR dengan memanfaatkan data pengamatan citra SAR multitemporal dalam rentang waktu panjang untuk mengidentifikasi pixel dengan gelombang pantul yang sangat terang dibandingkan sekitarnya (Prasetyo, dkk., 2014). Teknik ini telah diuji akurasinya terhadap hasil

pengukuran GPS dan *levelling* antara lain di Chiba, Jepang (Sarmap, 2014), Sumatra Barat, Indonesia (Razi, dkk., 2017) dan salah satu Tambang Mineral di India (Alam, dkk., 2018) .

Berdasar pada latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan studi penurunan muka tanah di Kota Bandar Lampung dengan metode PSInSAR, untuk membandingkan hasil pengukuran menggunakan metode DInSAR-SBAS yang telah dilakukan terlebih dahulu (Setyadi, 2016) sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan kebijakan rencana tata ruang, lingkungan, tindakan mitigasi, serta kegiatan studi selanjutnya.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi *land subsidence* di Kota Bandar Lampung dengan menggunakan metode PSInSAR pada citra ALOS-Palsar dan Sentinel-1.
2. Membandingkan hasil pengukuran metode PSInSAR dengan hasil pengukuran sebelumnya menggunakan metode DInSAR-SBAS.
3. Menganalisis kecepatan *land subsidence* yang terjadi di Kota Bandar Lampung.

C. Batasan Masalah

Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi yang dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada batas administrasi Kota Bandar Lampung.

2. Pengestimasian kecepatan penurunan tanah dihitung dengan metode PSInSAR yang dibatasi pada rentang tahun 2006 sampai dengan 2010 untuk citra ALOS Palsar dan tahun 2017 sampai dengan 2018 untuk citra Sentinel-1.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Letak dan Lokasi Penelitian

Tabel 1. Jumlah penduduk, luas wilayah dan kepadatan penduduk per-kecamatan di Kota Bandar Lampung tahun 2012-2016 (BAPPEDA, 2016).

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Luas Wilayah (km ²)	Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)
1	Kedaton	49.055	4,57	10.734
2	Sukarame	56.921	14,75	3.859
3	Tanjung Karang Barat	57.710	10,64	5.424
4	Panjang	74.506	14,15	5.265
5	Tanjung Karang Timur	37.108	2,69	13.795
6	Tanjung Karang Pusat	51.126	4,05	12.624
7	Teluk Betung Selatan	39.353	4,02	9.789
8	Teluk Betung Barat	29.799	11,02	2.704
9	Teluk Betung Utara	50.593	4,25	11.904
10	Rajabasa	48.027	6,36	7.551
11	Tanjung Seneng	45.775	17,80	2.572
12	Sukabumi	57.334	28,21	2.032
13	Kemiling	65.637	25,05	2.620
14	Labuhan Ratu	44.843	8,64	5.190
15	Way Halim	61.493	5,35	11.494
16	Langkapura	33.944	7,36	4.612
17	Enggal	28.084	3,49	8.047
18	Kedamaian	52.592	8,75	6.011
19	Teluk Betung Timur	41.645	11,42	3.647
20	Bumi Waras	56.742	4,65	12.203
Jumlah		982.287	197,22	142.077

Secara geografis Kota Bandar Lampung terletak pada koordinat 5°20' - 5°30' Lintang Selatan dan 105°28'- 105°37' Bujur Timur.

Kota Bandar Lampung memiliki luas wilayah daratan $\pm$ 19.722 Ha (197,22 Km²) yang terdiri dari 20 kecamatan dan 126 kelurahan. Pertumbuhan penduduk di Daerah Bandar Lampung berlangsung sangat pesat, hal tersebut tentu saja akan berkaitan dengan alih fungsi lahan yang terus terjadi dalam beberapa tahun terakhir. Jumlah penduduk dan kepadatan penduduk tiap km² disajikan pada **Tabel 1** (BAPPEDA, 2016).

Secara administratif Kota Bandar Lampung dibatasi oleh wilayah sebagai berikut:

1. Di sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan.
2. Di sebelah Selatan berbatasan dengan Teluk Lampung.
3. Di sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Gedung Tataan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran.
4. Di sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan.

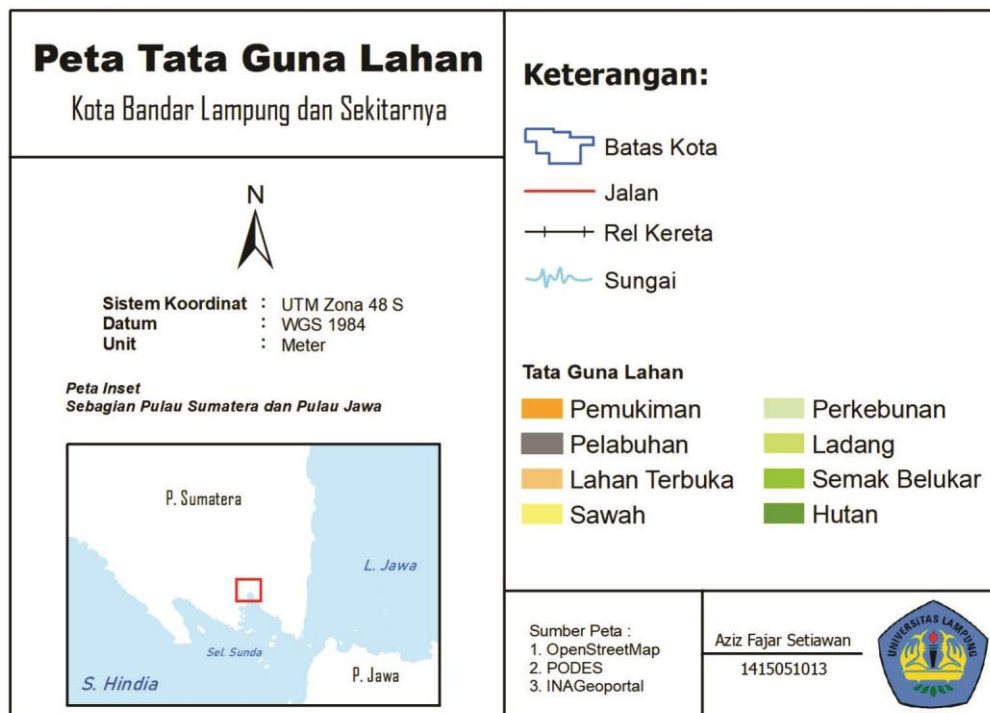
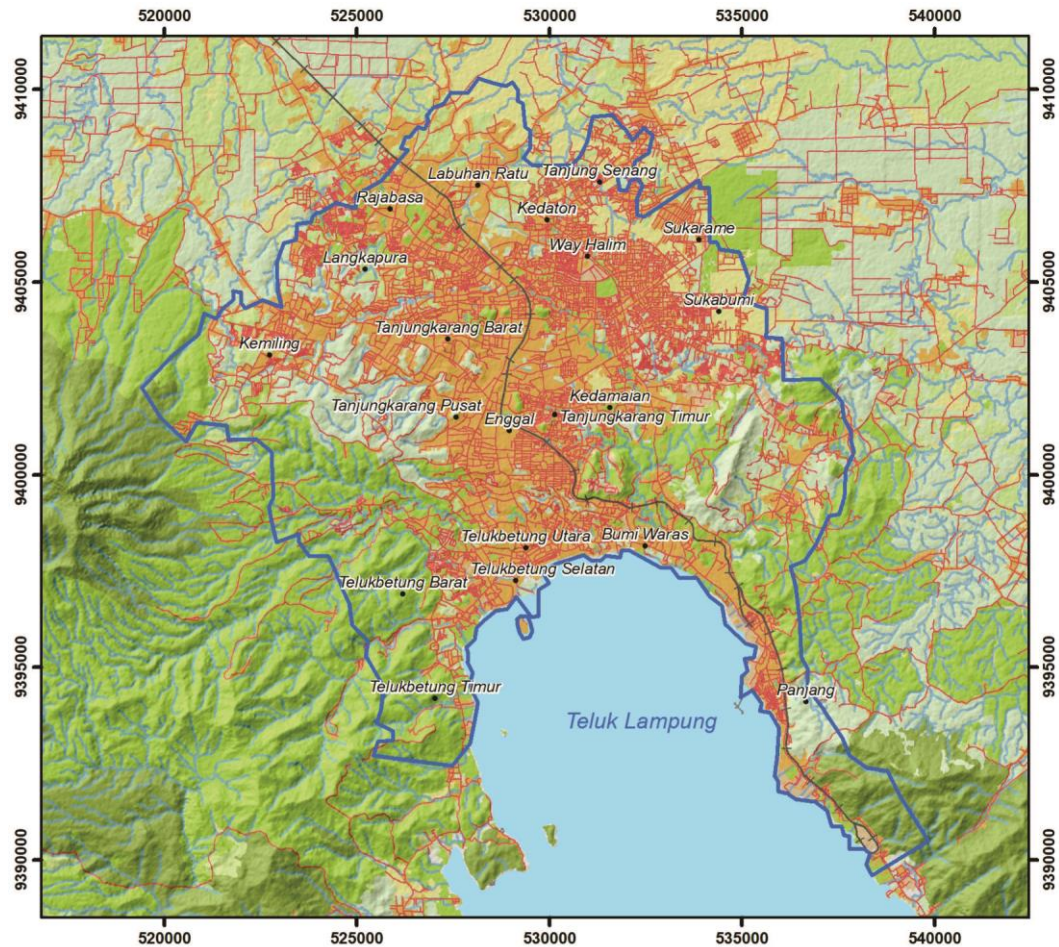
Tutupan lahan di Kota Bandar Lampung secara garis besar terdiri dari kawasan lindung dan kawasan budidaya (**Gambar 1**). Daratan Kota Bandar Lampung secara eksisting juga telah bertambah luas karena kegiatan reklamasi pantai di Kota Bandar Lampung, jika pada tahun 2003 luas Kota Bandar Lampung hanya 19.218 Ha, maka saat ini akibat adanya kegiatan tersebut luas Kota Bandar Lampung sudah berjumlah 19.722 Ha. Secara umum jumlah lahan terbangun sampai saat ini telah berjumlah

$\pm 8.851,07$ Ha atau sekitar 48,66 persen dari seluruh luas Kota Bandar Lampung, sedangkan lahan yang belum terbangun saat ini memiliki luas sekitar $\pm 10.870,9$ Ha atau sekitar 55 persen (BAPPEDA, 2016).

B. Morfologi Daerah Penelitian

Kota Bandar Lampung terletak pada ketinggian 0 sampai 700 meter diatas permukaan laut dengan lima kelas geomorfologi berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1985). Klasifikasi tersebut direpresentasikan pada peta geomorfologi wilayah Kota Bandar Lampung (**Gambar 2**) dan dideskripsikan sebagai berikut :

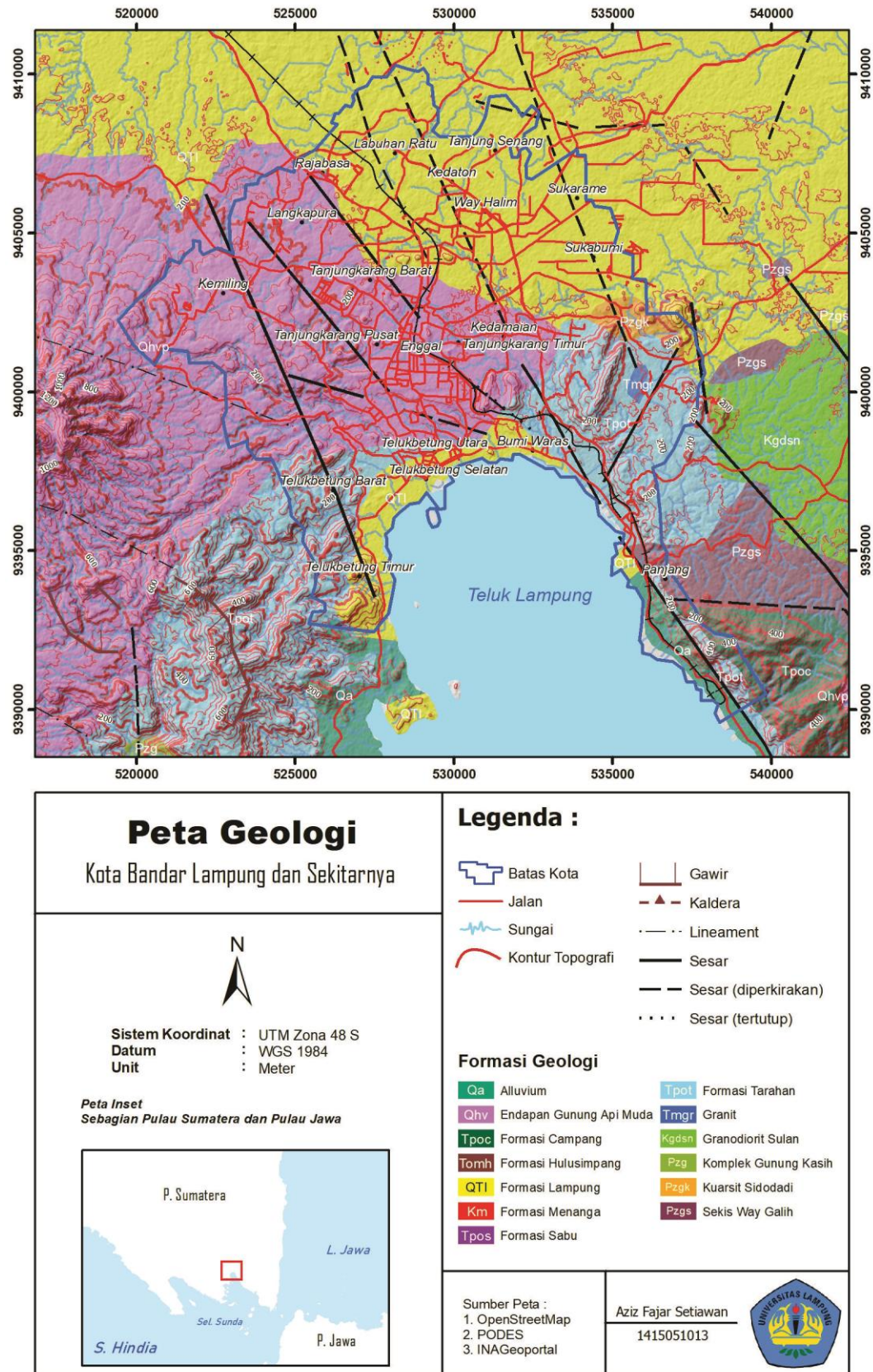
1. Daerah pantai atau dataran rendah (0 – 50 mdpl) yaitu sekitar Teluk Betung Selatan dan Panjang.
2. Daerah dataran rendah pedalaman (50 – 100 mdpl) yaitu sekitar Teluk Betung Utara, Teluk Betung Timur, Sukabumi dan Sukarame.
3. Daerah perbukitan rendah (100 – 200 mdpl) yaitu sekitar Tanjung Karang Pusat, Tanjung Karang Timur (Gunung Camang), Kedaton dan Rajabasa.
4. Daerah perbukitan (200 – 500 mdpl) terdapat di sekitar Panjang, Tanjung Karang Timur (Gunung Balau) dan Kemiling (Kawasan kaki Gunung Betung).



Gambar 1. Peta Penggunaan Lahan



Gambar 2. Peta Geomorfologi Wilayah Bandar Lampung dan Sekitarnya



Gambar 3. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian

C. Geologi Wilayah Bandar Lampung

Secara stratigrafi, daerah penelitian terbentuk pada Zaman Paleozoikum sampai dengan kwarter. Daerah ini terletak di belakang busur Pegunungan Barisan. Beberapa Formasi yang ada di daerah penelitian yaitu Formasi Lampung, Formasi Gunung Api Muda, Formasi Tarahan, Formasi Kuarsit Sidodadi, Formasi Granit tak terpisahkan dan Formasi Aluvium. Dengan dominasi litologi berupa endapan batuan gunung api muda seperti basal, andesit dan tuff yang terbentuk pada zaman tersier – kwarter.

Batuan tertua yang tersingkap di wilayah penelitian adalah batuan malihan (*metamorf*) yang terdiri dari sekis, kuarsit, pualam, genes dan migmatit, yang merupakan kelompok batuan Kompleks Gunung Kasih (Pzg). Berdasarkan transek geologi Lembar Tanjung Karang (Mangga, 1993), Formasi ini diperkirakan sebagai batuan dasar (*basement*) di daerah penelitian.

Di bagian barat terdapat topografi perbukitan terjal, karena adanya Gunung Betung dan Gunung Pesawaran. Fenomena yang menarik adalah terbentuknya bukit - bukit menjulang yang tersusun oleh material tuff. Di bagian Selatan berupa Gunung Kunyit, di bagian tengah terbentuk Bukit Randu, Gunung Sulah dan Gunung Banten. Sedangkan di sebelah Timur terdapat Gunung Camang (Rustadi, 2011).

Formasi Lampung (QTI) ditafsirkan terbentuk sebagai akibat sedimentasi material vulkanis di lingkungan terestrial, fluvial, dan air payau yang terjadi

pada zaman kwarter (Pliosen – Plistosen). Formasi ini tersebar disebelah Utara hingga Timur Laut daerah penelitian yang terdiri dari batuan tuf berbatuapung, tuf, dan batupasir tufan dengan ketebalan ± 200 m.

Di bagian barat daerah penelitian, yaitu pada kawasan Gunung Betung yang membentang dari Kemiling hingga Tanjung Karang Barat didominasi oleh kelompok satuan Gunung Api Muda (Qhv). Satuan ini berkomposisi batuan lava (andesit-basal), breksi, dan tuf yang merupakan hasil ekstrusi Gunung Betung (Qhvb) yang terjadi pada zaman kwarter (Plistosen dan Holosen).

Kemudian beralih ke sebelah Barat Daya dan Tenggara daerah penelitian terdapat Formasi Tarahan (Tpot). Kelompok batuan yang mendominasi adalah batuan Gunung Api berkomposisi breksi, tuf, dan tufit, dimana tuf dan breksi didominasi oleh sisipan tufit. Formasi ini terbentuk pada zaman tersier (Paleosen – Oligosen Awal).

Di bagian Timur daerah penelitian tersebar kelompok Kuarsit Sidodadi (Pzgz) yang terdiri dari batuan *metamorphic* dengan jenis batuan kuarsit dengan sisipan sekis – kuarsa serisit yang terbentuk pada zaman Paleozoikum.

Di sebelah Tenggara daerah penelitian terdapat kelompok Batuan Granit tak terpisahkan (Tmgr) yang terdiri dari intrusi batuan granit yang menerobos Formasi Hulusimpang yang terjadi pada Kala Miosen Tengah.

Selanjutnya ada Formasi Aluvium (Qa) yang tersebar di daerah dataran pesisir pantai Panjang yang terpotong oleh busur Sesar Lampung – Panjang. Litologi yang menyusun Formasi Aluvium yaitu batuan kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan gambut yang terbentuk dari proses sedimentasi klastik pada zaman kwarter (Holosen) (Mangga, dkk., 1993).

D. Hidrologi

Secara hidrologi terdapat 2 sungai besar (Way Kuripan dan Way Kuala) dan 23 sungai – sungai kecil di Kota Bandar Lampung. Sungai – sungai tersebut merupakan DAS (Daerah Aliran Sungai) yang berada di wilayah Kota Bandar Lampung dan bermuara di Teluk Lampung.

Kondisi air tanah di Kota Bandar Lampung berdasarkan akuifer yang dimilikinya dibagi menjadi 6 bagian berdasarkan porositas dan permeabilitasnya, yaitu :

1. Akuifer dengan produktifitas sedang, kondisi ini terdapat di kawasan pesisir Kota Bandar Lampung, yaitu Kecamatan Panjang, Bumi Waras, Teluk Betung Selatan, Teluk Betung Barat, dan Teluk Betung Timur.
2. Air tanah dengan akuifer produktif, kondisi seperti ini berada di Kecamatan Kedaton, Tanjung Seneng, bagian Selatan Kemiling, bagian Selatan Tanjung Karang Barat, dan sebagian kecil wilayah Sukabumi.
3. Akuifer dengan produktifitas sedang dan penyebaran luas, kondisi seperti ini berada di bagian Utara Kecamatan Kemiling, bagian Utara

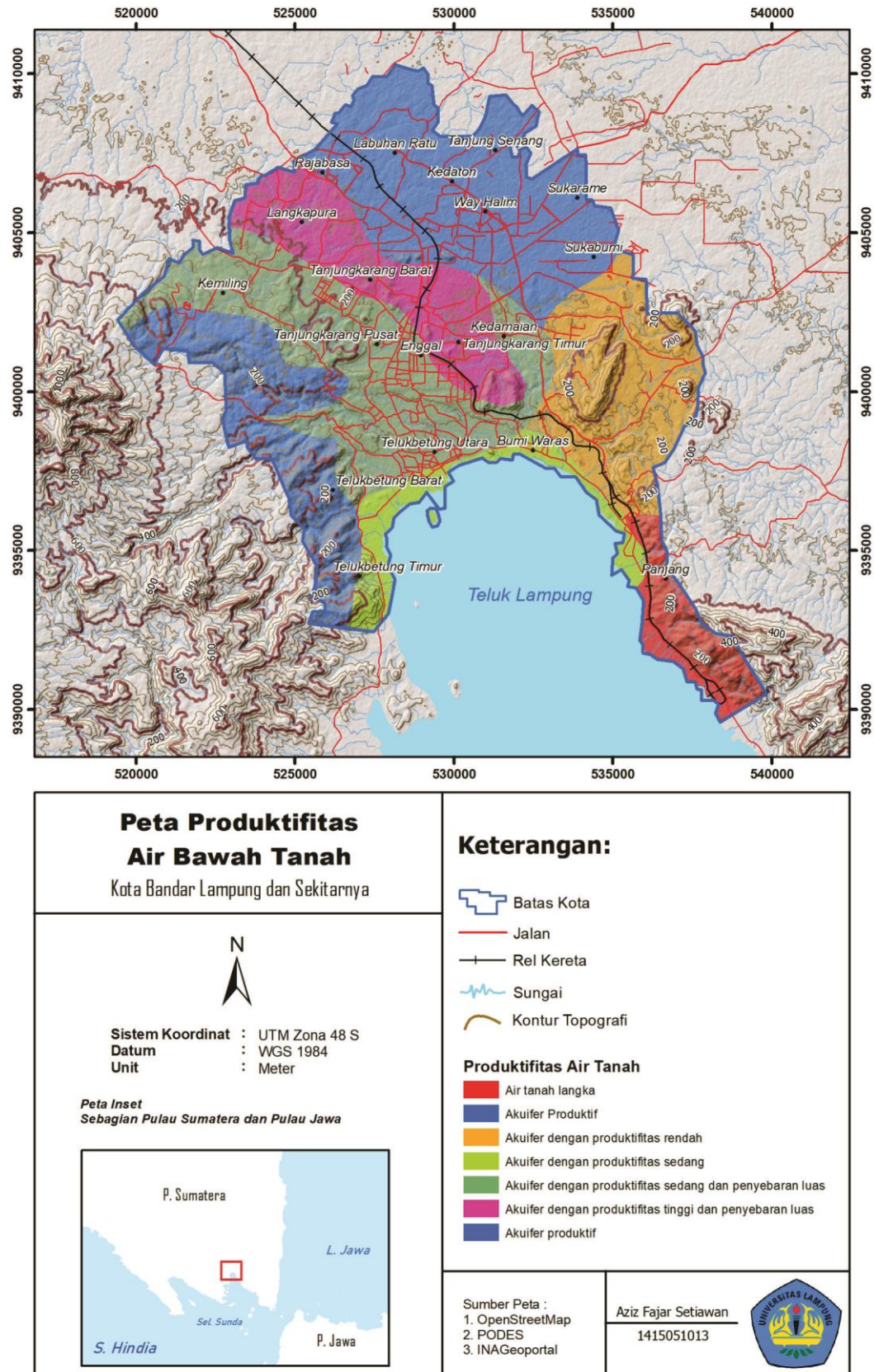
Tanjung Karang Barat, Tanjung Karang Pusat, Teluk Betung Utara, dan sebagian kecil Kecamatan Tanjung Karang Timur.

4. Akuifer dengan produktifitas tinggi dan penyebaran luas, kondisi seperti ini berada di sebagian besar Kecamatan Rajabasa dan Tanjung Karang Timur.
5. Akuifer dengan produktifitas rendah, kondisi seperti ini berada di bagian Utara Kecamatan Panjang, Tanjung Karang Timur, dan bagian Barat Kecamatan Teluk Betung Selatan.
6. Air tanah langka, berada di Kecamatan Panjang (BAPPEDA, 2016).

Berdasarkan RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Kota Bandar Lampung, potensi air tanah dangkal yang ada di Kota Bandar Lampung dibagi menjadi 4 bagian yaitu :

1. Potensi Sangat Baik, potensi seperti ini sebagian besar berada di kawasan Kedaton, Tanjung Seneng, Tanjung Karang Pusat, Teluk Betung Selatan, Teluk Betung Barat dan Panjang, serta sebagian kecilnya berada di bagian Barat Kecamatan Kemiling.
2. Potensi Baik, potensi seperti ini berada di Tanjung Karang Timur, bagian Utara Teluk Betung Selatan, bagian Utara kecamatan Panjang dan Teluk Betung Barat, serta sebagian kecil di Kecamatan Rajabasa.
3. Potensi Sedang, potensi seperti ini berada di hampir semua kecamatan kecuali Teluk Betung Selatan serta hanya sebagian kecil di Kecamatan Tanjung Karang Timur, Kedaton dan Tanjung Seneng.

4. Potensi Kurang, potensi seperti ini berada di Utara Kecamatan Kemiling, Tanjung Karang Barat serta sebagian kecil Tanjung Karang Timur, Sukabumi, Tanjung Seneng dan Kedaton (Saputra, 2015).



Gambar 4. Peta Klasifikasi Produktivitas Air Tanah

III. TEORI DASAR

A. Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*)

Definisi penurunan muka tanah berdasarkan beberapa referensi dapat didefinisikan sebagai berikut: terjadi pada skala regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah, biasanya terjadi di daerah yang berkapur atau turunnya kedudukan permukaan tanah yang disebabkan oleh kompaksi tanah (Prasetyo dan Subiyanto, 2014).

Penurunan tanah dapat disebabkan oleh gejala alam ataupun kegiatan manusia. Penurunan tanah yang disebabkan gejala alam diantaranya pembebanan sedimen, kompaksi formasi holosen, dan aktivitas tektonik ataupun vulkanik. Penurunan tanah yang disebabkan aktivitas manusia diakibatkan oleh ekstraksi fluida, penambangan, perubahan drainase, dan pembebanan (Chaussard, dkk., 2013).

Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter lebih (Galloway dkk., 1999) sehingga dampaknya dapat merusak infrastruktur

perkotaan yang kemudian dapat saja menjadi gangguan terhadap stabilitas perekonomian dan kehidupan sosial di wilayah tersebut.

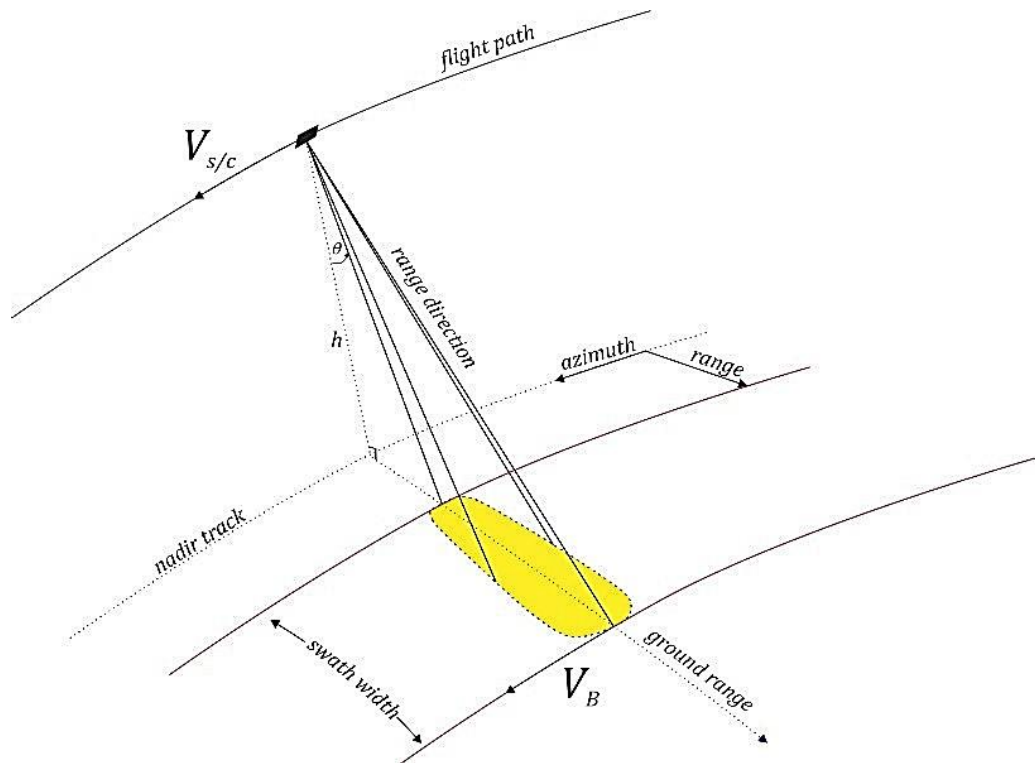
Tabel 2. Faktor-faktor yang berasosiasi dengan potensi *land subsidence* di kota-kota di Indonesia (Chaussard, dkk., 2013).

Proses	Laju Penurunan	Pola spasial	Geologi	Penggunaan Lahan
Kompaksi sedimen berumur holosen	< 1 cm/th	regional	Sedimen yang dapat terkompaksi	Semua jenis lahan
Ekstraksi fluida (air tanah, minyak bumi, dan gas)	mencapai 10 cm/th	regional - patchy	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri, campuran, dan pertanian
Penambangan	mencapai 10 cm/th	regional - patchy	Semua jenis sedimen	Industri (tambang)
Pemanfaatan air permukaan	< 5 cm/th	regional - lokal	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri, campuran, dan pertanian
Pembebanan sedimen	< 5 cm/th	regional - patchy	Sedimen yang dapat terkompaksi	Industri dan campuran

B. *Synthetic Aperture Radar*

Teknologi SAR dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan resolusi spasial pada citra real aperture radar (RAR), dengan cara membuat antenna pendek yang berfungsi bagai antenna panjang (*synthetic aperture*). Dengan bergerak maju, sensor yang sebenarnya berukuran pendek yang secara elektronik ia merupakan bagian-bagian dari antenna yang panjang. Hal ini dimungkinkan oleh adanya efek Doppler yang mengakibatkan gerak semu pada objek pada tiap pancaran

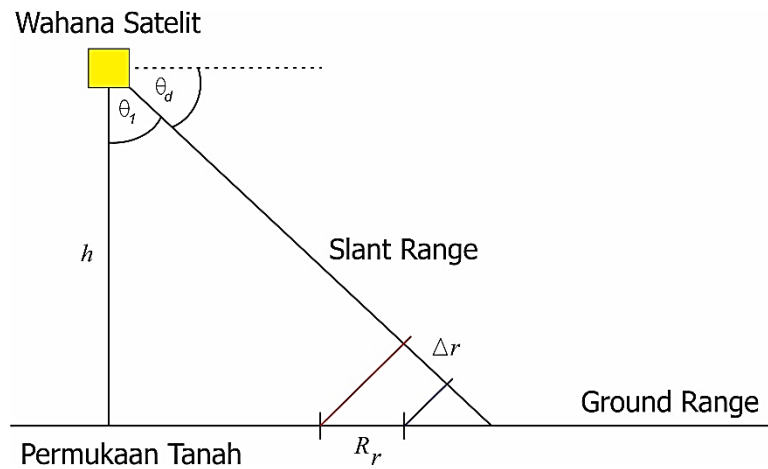
pulsa radar (Sutanto, 1994). Mekanisme ini diilustrasikan pada **Gambar 5** berikut ini:



Gambar 5. Synthetic aperture radar (modifikasi dari ESA, 2018).

Sebuah citra SAR adalah sekumpulan piksel dua dimensi dalam arah *slant range* (r) dan azimuth (x). Setiap piksel bersesuaian dengan bagian kecil dari permukaan bumi yang disebut sel resolusi. Piksel tersebut merepresentasikan sejumlah bilangan kompleks yang berisi informasi amplitudo dan fase dari suatu *scatterer* dalam sel resolusi yang merupakan proyeksi dari permukaan bumi. Informasi fase digunakan dalam bentuk interferometri yang diambil dari dua data citra SAR, sedangkan informasi amplitudo menggambarkan kekuatan dari *scattering* pantulan (Ferretti, 2007).

Resolusi spasial dari SAR sangat ditentukan dari besarnya antenna yang digunakan. Semakin Panjang antenna, resolusi spasial yang digunakan akan semakin baik. Faktor lain yang menentukan resolusi spasial dari SAR yaitu *pulse duration* (τ), *beamwidth* antenna (β) dan *look angle* (θ_1) (ESA Tutorial, 2018).



Gambar 6. Resolusi pada arah *Range* (modifikasi dari Zalite dan Voormasik).

Dimana θ_1 merupakan besar sudut *slant range* terhadap ketinggian, h merupakan ketinggian wahana dan c merupakan kecepatan cahaya. Resolusi dalam *slant range* (Δr) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta r = \frac{c\tau}{2} \quad (1)$$

dan resolusi pada *ground range* (R_r) bernilai:

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

dengan (θ_d) merupakan sudut *slant range* terhadap arah horisontal. Pada arah *azimuth*, resolusi *azimuth* (R_a) ditentukan oleh panjang antenna (L) dan *beamwidth* antenna (β) serta jarak *ground range*. Nilai *beamwidth* antenna adalah:

$$\beta = \frac{\lambda}{L} \quad (3)$$

(λ) merupakan panjang gelombang yang digunakan oleh sensor. Variabel fundamental yang mempengaruhi tingkat kecerahan pada citra radar dirumuskan dengan persamaan radar berikut:

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

(P_r) adalah sinyal yang diterima oleh antenna, (P_t) merupakan sinyal yang ditransmisikan oleh antenna, (R) jarak antenna ke target, (G) fungsi antenna (*gain* antenna) dan (σ) variabel faktor insidental (Campbell, 2011).

Dalam penelitian kali ini digunakan dua macam citra yang berbeda yaitu citra ALOS PALSAR (Band L) dan citra Sentinel-1 (Band C). Adapun penjelasan dari masing-masing citra tersebut adalah sebagai berikut :

1. ALOS PALSAR

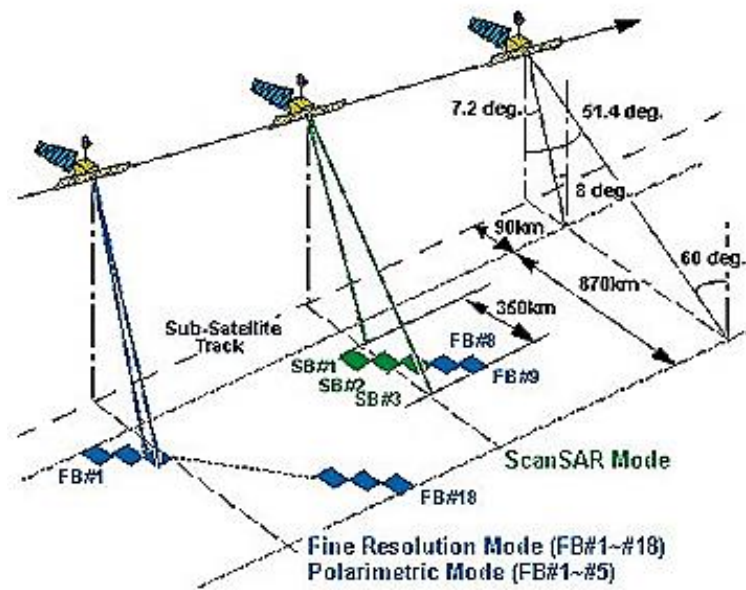
ALOS merupakan singkatan dari *Advanced Land Observing Satellite*. Merupakan satelit multimisi milik Jepang yang merupakan satelit lanjutan dari generasi JERS-1 dan ADEOS, dengan mengusung teknologi yang lebih maju. ALOS dilengkapi dengan tiga buah sensor penginderaan jauh, yaitu PRISM, AVNIR-2 dan PALSAR. PRISM dan AVNIR-2 merupakan sensor optik (pasif) sedangkan PALSAR merupakan sensor radar (aktif) (Julzarika, dkk., 2008).

The Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) merupakan sensor *microwave* aktif yang menggunakan frekuensi L-band untuk pengamatan permukaan bumi yang bebas awan serta kemampuan

pengamatan pada siang ataupun malam hari (JAXA, 2016). Citra ini memiliki resolusi spasial 15 meter dan memiliki polarisasi HH dan HV, HH, atau hanya HV. Selain untuk pembuatan band *red*, *green*, dan *blue*, polarisasi ini juga berguna untuk interferometri dalam pembuatan DSM, aplikasi tegakan pohon, dan lain-lain. PALSAR memiliki kelebihan dapat membedakan dengan jelas antara objek air dan objek non-air (Widjajanti, 2006). Tidak hanya itu, PALSAR memiliki keunikan dalam proses klasifikasi yaitu menggunakan unsur bentuk dan pola.

Tabel 3. Karakteristik ALOS PALSAR (JAXA, 2016)

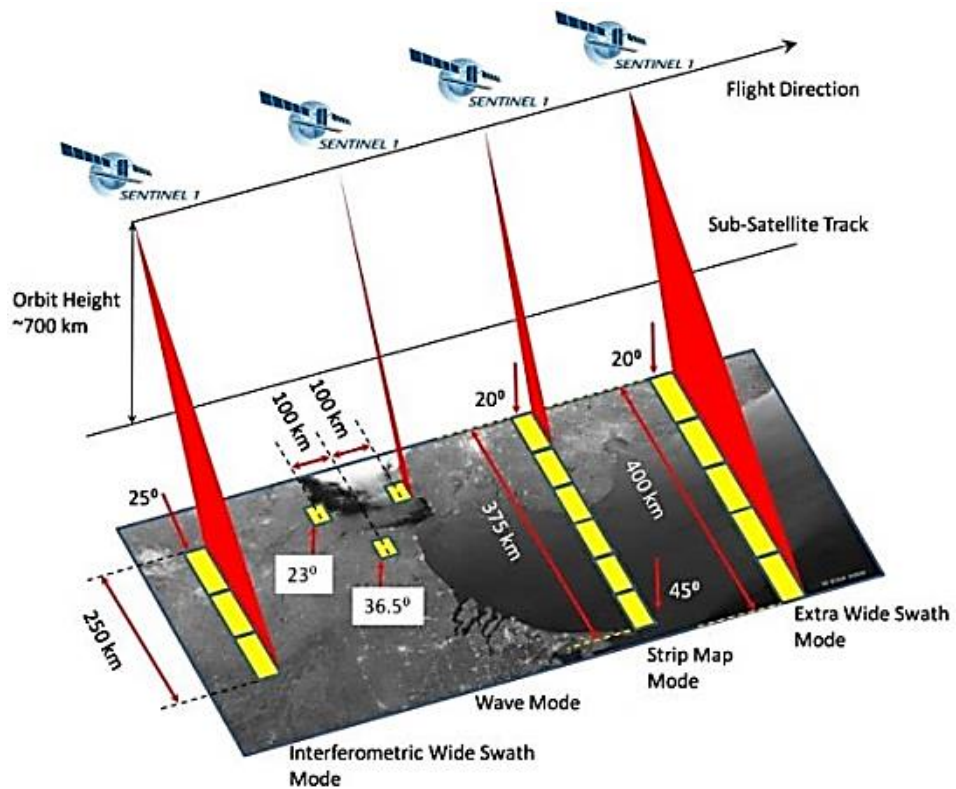
<i>Mode</i>	<i>Fine</i>	<i>Fine</i>	<i>ScanSAR</i>	<i>Polarimetric (Experimental mode)</i>
<i>Center Frequency</i>	1270 MHz (L-Band)			
<i>Chirp Bandwith</i>	28 MHz	14 MHz	14 MHz, 28 MHz	14 MHz
<i>Incident angle</i>	8 – 60	8 – 60	18 – 43	8 – 30
<i>Polarisation</i>	HH / VV	HH+HV / VV+VH	HH / VV	HH+HV / VH+VV
<i>Observation Swath</i>	40 – 70 km	40 – 70 km	250 – 350 km	20 – 65 km
<i>Bit Length</i>	5 bits	5 bits	5 bits	3 / 5 bits
<i>Data Rate</i>	240 Mbps	240 Mbps	120 Mbps, 240 Mbps	240 Mbps
<i>Radiometric accuracy</i>	Scene : 1 dB/orbit: 1.5 dB			



Gambar 7. Ilustrasi Perekaman Citra ALOS Palsar (JAXA, 2016).

2. Sentinel-1

Sentinel-1 diluncurkan pada tanggal 3 April 2014 dengan membawa sensor aktif SAR (*Synthetic Aperture Radar*) C - band. Dengan tujuan pemantauan Lahan dan Laut, Sentinel-1 terdiri dari dua satelit yang mengorbit kutub yang beroperasi siang dan malam dan melakukan pencitraan Radar sehingga memungkinkan untuk memperoleh citra tanpa terganggu oleh cuaca. Sentinel-1 merupakan seri satelit pertama dari tujuh misi satelit yang diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA) (ESA, 2018).



Gambar 8. Ilustrasi Perekaman Citra Sentinel-1 (ESA, 2018).

Sentinel-1 memiliki sensor *C-band* dengan dua buah satelit yakni Sentinel-1a dan Sentinel-1b yang mengorbit secara tandem berjauhan 180° . Masing-masing satelit mampu melakukan *repeat cycle* setiap 12 hari dan dengan konstelasi kedua satelit tersebut membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari. Sentinel-1 memiliki 4 mode pengamatan dengan mode utama di daratan adalah mode *Interferometric Wide Swath* (IW) (Islam *et al.*, 2017).

Tabel 4. Karakteristik Sentinel-1 (ESA, 2018).

<i>Parameter</i>	<i>Interferometric wide-swath mode (IW)</i>	<i>Wave mode (WV)</i>	<i>Strip map mode (SM)</i>	<i>Extra wide – swath mode (EW)</i>
<i>Polarisation</i>	Dual (HH+HV, VV+VH)	Single (HH, VV)	Dual (HH+HV, VV+VH)	Dual (HH+HV, VV+VH)
<i>Access (incidence angles)</i>	31° – 46°	23° + 37° (mid-incidence angle)	20° – 47°	20° – 47°
<i>Azimuth resolution</i>	20 m	5 m	5 m	40 m
<i>Ground range resolution</i>	5 m	5 m	5 m	20 m
<i>Azimuth and range looks</i>	Single	Single	Single	Single
<i>Swath</i>	250 km	Vignette 20 * 20 km	80 km	410 km
<i>Maximum noise-equivalent sigma zero (NESZ)</i>	-22 dB	-22 dB	-22 dB	-22 dB
<i>Radiometric stability</i>	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)
<i>Radiometric accuracy</i>	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)
<i>Phase error</i>	5°	5°	5°	5°

C. *Interferometric SAR*

Interferometri SAR (InSAR) merupakan teknik penggabungan lebih dari satu citra SAR dalam liputan yang sama dan kemudian diregistrasi untuk dapat melihat informasi fase. Pasangan citra untuk InSAR terdiri dari *master* dan *slave*. *Master* adalah citra SAR yang digunakan sebagai acuan utama dalam melakukan interpolasi perhitungan untuk *slave*. *Slave* sendiri merupakan

citra SAR dengan liputan yang memiliki perbedaan waktu akuisisi yang dapat digunakan untuk perbandingan data dengan citra SAR *master*.

Interferogram atau citra beda fase merupakan hasil interferometri pasangan citra SAR. Interferogram memiliki informasi keadaan topografi suatu wilayah karena interferogram membentuk pola seperti kontur. Pola geometrik yang merupakan pola garis yang sistematis akibat adanya perbedaan posisi sensor dan pola diferensial yang menggambarkan perubahan jarak antara dua citra SAR disebabkan oleh perubahan muka tanah, refraksi atmosfer dan perubahan tutupan lahan. Perubahan topografi suatu wilayah dapat diketahui karena adanya perbedaan waktu pengambilan yang menyebabkan frekuensi yang diterima wahana berbeda, sehingga teknik InSAR ini banyak digunakan untuk keperluan pemantauan deformasi maupun pembuatan DEM (Mirelva, 2015).

Jarak antara dua sensor pada ilustrasi teknik InSAR *repeat pass* disebut *baseline* (B), komponen yang tegak lurusnya merupakan *perpendicular baseline* ($B_{\perp}$) dan (α) sudut antara *baseline* dengan arah horisontal. Pada akuisisi citra yang kedua (*slave*) jarak antara sensor dengan target ($R + \delta R$) dan (R) untuk citra *master*.

Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

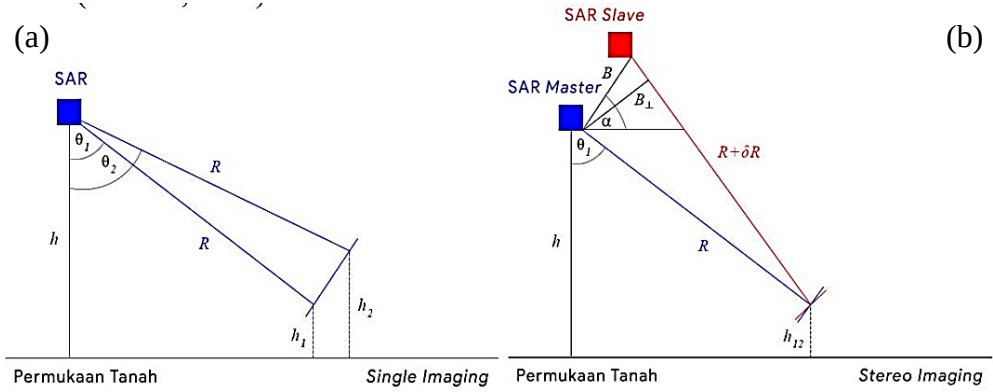
$$(R + \delta R)^2 = R^2 + B^2 - 2RB\sin(\theta_1 - \alpha) \quad (5)$$

dari ketinggian sensor terhadap sudut dapat diketahui:

$$h_{12} = h - R \cos \theta_1 \quad (6)$$

akurasi pengukuran tinggi (σ_h) bergantung pada pengukuran *path different* ($\sigma_{\delta R}$) sehingga menjadi:

$$\sigma_h = \frac{\partial h}{\partial (\delta R)} \sigma_{SR} = \frac{R \sin \theta_1}{B \cos(\theta_1 - \alpha)} \sigma_{SR} = \frac{R \sin \theta_1}{B_\perp} \sigma_{SR} \quad (7)$$



Gambar 9. Teknik InSAR *Single Pass* (a) dan *Repeat Pass* (b) (modifikasi dari Goel, 2013).

Sinyal kompleks SAR (s) pada setiap pikselnya bergantung pada dua arah jarak antara sensor dengan target yang dirumuskan sebagai berikut:

$$s = ae^{j\phi} = ae^{j(\frac{-2\pi}{\lambda}2R + \phi_{scat})} = ae^{j(\frac{-4\pi}{\lambda}R + \phi_{scat})} \quad (8)$$

dimana (a) merupakan amplitudo, (ϕ) adalah fase, (R) adalah jarak yang ditentukan dari perhitungan waktu dari transmisi pulsa hingga menerima sinyal balik dari target dan (ϕ_{scat}) merupakan fase karena *scattering* dalam resolusi sel *master* dan *slave*. Kompleks interferogram (q) pada piksel umumnya dirumuskan sebagai berikut:

$$q = s_1 \cdot s_2^* = a_1 a_2 e^{j(\phi_1 - \phi_2)} = a_1 a_2 e^{j(\frac{4\pi}{\lambda}\delta R + (\phi_{scat1} - \phi_{scat2}))} \quad (9)$$

disini, nilai fase (q) merupakan fase interferometri *wrapped* yang masih ambigu dengan terbatas pada interval $(-\pi, \pi)$. Setelah fase *unwrapping*,

fase interferometri *unwrapped* sesungguhnya (ϕ_{InSAR}) dari piksel ditunjukkan sebagai:

$$\phi_{InSAR} = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R \quad (10)$$

interferogram berisi informasi tentang perbedaan jalur (*path*). Presisi pengukuran perbedaan *path* ($\sigma_{\delta R}$) tergantung pada akurasi fase interferometri ($\sigma_{\phi_{InSAR}}$) sejak:

$$\sigma_{\phi_{InSAR}} = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R \quad (11)$$

dengan mensubstitusikannya kedalam persamaan (7) memberikan akurasi pengukuran ketinggian menjadi:

$$\sigma_h \approx \frac{R \sin \theta_1}{B_{\perp}} \frac{\lambda}{4\pi} \sigma_{\phi_{InSAR}} \quad (12)$$

hubungan fase-topografi yang disederhanakan dituliskan sebagai berikut:

$$\phi_{InSAR} \approx \phi_{topo} = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp}}{R \sin \theta_1} h_{12} \quad (13)$$

dengan asumsi bahwa komponen fase *flat earth* telah dihapus dan tidak ada komponen fase deformasi, atmosfer dan gangguan (*noise*).

D. Differential Interferometric SAR

Teori yang disebutkan di atas mengasumsikan bahwa permukaan bumi adalah stasioner (diam). Jika kedua pengamatan dipisahkan dalam waktu yang berbeda, perbedaan fase mungkin disebabkan tidak hanya oleh topografi tetapi juga oleh deformasi. Jika topografi medan telah diketahui sebelumnya (misalnya melalui DEM), maka informasi topografi independen ini dapat dikurangkan dari interferogram untuk mendapatkan interferogram diferensial (ϕ_{DInSAR}), yang menunjukkan deformasi permukaan:

$$\phi_{DInSAR} \approx \phi_{defo} = \frac{4\pi}{\lambda} B_t v \quad (14)$$

dimana (B_t) adalah *baseline* temporal untuk interferogram dan (v) adalah kecepatan deformasi dari titik hamburan pada arah LOS (dengan asumsi model kecepatan konstan). Teknik ini untuk memantau deformasi disebut dengan *Differential Interferometric SAR* (DInSAR). Pada kenyataannya, fase diferensial interferometri untuk setiap piksel terdiri dari komponen fase akibat deformasi (ϕ_{defo}), residual topografi (ϕ_{res_topo}), atmosfer (ϕ_{atmo}), dan gangguan (ϕ_{noise}) ditunjukkan sebagai berikut:

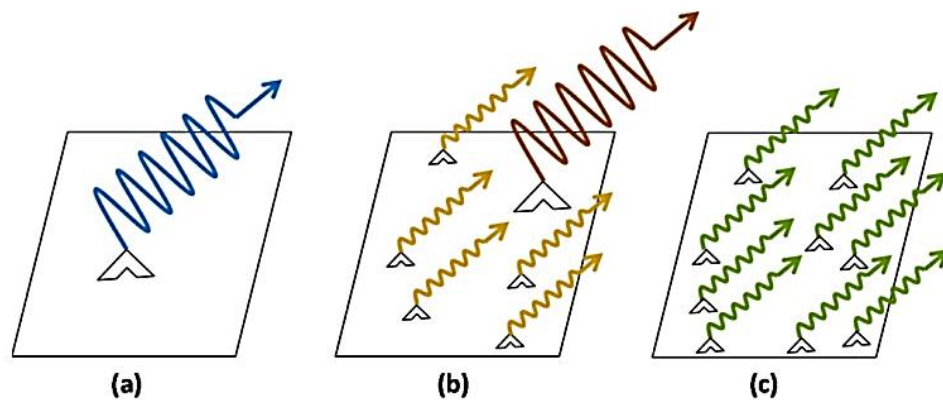
$$\phi_{DInSAR} = \phi_{defo} + \phi_{res_topo} + \phi_{atmo} + \phi_{noise} \quad (15)$$

$$\phi_{DInSAR} = \frac{4\pi}{\lambda} B_t v + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp}}{R \sin \theta_1} h_{12} + \phi_{atmo} + \phi_{noise} \quad (16)$$

(Goel, 2013).

E. Statistik Interferogram SAR

Kasus hamburan balik interferometri yang ideal adalah karena pencar titik (lihat **Gambar 10a**). Jika elemen resolusi berisi penghambur titik tunggal, kontribusi fase karena hamburan di dalam sel resolusi (ϕ_{scatt}) menunjukkan hampir tidak ada variasi terhadap waktu. Dalam kasus seperti itu, informasi topografi dan deformasi dapat diperkirakan dari interferogram dengan sangat baik. Namun, pencar seperti itu jarang ada dalam kenyataan.



Gambar 10. Ilustrasi hamburan balik di dalam sebuah citra SAR. (a) *Point Scatterer*. (b) PS dengan satu (atau lebih) hamburan balik yang mendominasi di dalam sebuah piksel SAR. (c) DS dengan banyak hamburan balik di dalam sebuah piksel SAR tanpa ada yang mendominasi.

Namun demikian, pada struktur buatan manusia seperti atap, fasad bangunan, struktur logam dll di daerah perkotaan, memang ada PSs. Sebuah PS ditandai dengan satu (atau beberapa) dominasi *scatterer* di dalam satu piksel citra (lihat **Gambar 10b**). Ini menunjukkan sedikit variasi (ϕ_{scatt}) terhadap waktu dan juga dapat digunakan untuk topografi dan estimasi deformasi terhadap waktu.

Di sisi lain, di medan alami, hamburan umumnya memiliki jumlah yang banyak dalam resolusi satu piksel (dimana tidak ada hamburan tunggal mendominasi yang lain). Objek hamburan seperti itu disebut DS (lihat **Gambar 10c**). Variasi (ϕ_{scatt}) terhadap waktu didistribusikan secara acak dalam interval $(-\pi, \pi)$. Metode penumpukan InSAR berdasarkan DSs yaitu SBAS dan SqueeSAR. Metode ini mengeksploitasi interferogram pada resolusi yang

lebih rendah (data *multi-look*). DS ditandai dengan SNR rendah, yang harus ditingkatkan dengan rata-rata spasial lokal (yaitu *multi-looking*).

Dasar dari prinsip InSAR ataupun lanjutannya merupakan dua buah sensor citra yang merupakan pasangan interferometri, nilai koherensi dari suatu data citra (γ) dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{\langle s_1 s_2^* \rangle}{\sqrt{\langle s_1 s_1^* \rangle \langle s_2 s_2^* \rangle}}, 0 \leq |\gamma| \leq 1 \quad (17)$$

dimana (s_1) dan (s_2) merupakan produk citra kompleks yang berpasangan, ($\langle \rangle$) menunjukkan operasi rata-rata dan ($*$) menunjukkan produk kompleks konjugat. Nilai amplitudo dari koefisien korelasi kompleks $|\gamma|$ merupakan koherensi interferometri (Zalite, 2016).

F. *Persistent Scatterer Interferometry SAR (PSInSAR)*

Metode PS-InSAR pertama kali dikemukakan dalam jurnal penelitian berjudul *Persistent Scatterers Interferometry SAR* (Ferretti dkk., 1999) pada *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 28 Juni - 2 Juli 1999 di Hamburg-German.

Penelitian ini memunculkan konsep penelitian *single coherent piksels* yang kemudian didefinisikan sebagai *Permanent Scatterers* (PS), menggunakan pasangan citra SAR dalam jumlah besar untuk mendapat akurasi DEM dalam orde sub-sentimeter serta nilai pergerakan permukaan pada area berkoherensi tinggi dalam basis piksel per piksel. Teknik PS-InSAR merupakan pengembangan dari teknik konvensional InSAR dan DInSAR. Keuntungan

utama dari pengembangan teknik ini adalah untuk mengatasi permasalahan di dalam teknik InSAR dan DInSAR terkait dengan dekorelasi temporal dan geometrik (Prasetyo dan Subiyanto, 2014).

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

$$D_A = \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (18)$$

Dimana, σ_A adalah standar deviasi, μ_A adalah nilai rata-rata dan D_A adalah *dispersion index*. Ambang batas 0,75 digunakan untuk memilih titik PS berdasarkan nilai ASI (*Amplitude Stability Index*). *Amplitude Stability Index* diketahui sebagai :

$$ASI = 1 - \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (19)$$

(Gonnuru dan Kumar, 2018).

G. Perbandingan Metode *Persistent Scatterer Interferometry* SAR (PSInSAR) dan *Small Baseline Subset* (SBAS)

Metode interferometri *stacking* sangat ideal untuk mengeksploitasi serangkaian gambar SAR N (*Interferometric stacking*) untuk mengidentifikasi area (piksel) yang menunjukkan sinyal koheren dan konsisten (perpindahan) dari waktu ke

waktu. PS dan SBAS memiliki sifat dan karakteristik yang membuat mereka kurang lebih sesuai dengan tipologi bidang minat yang diperhitungkan dan hasil yang diharapkan.

Persistent Scatterers (PS) ditujukan untuk analisis target titik. Produk yang dihasilkan relevan dengan pengukuran perpindahan linear dan derivasi ketinggian yang tepat dari hamburan lokal, yang biasanya ditandai dengan koherensi tinggi. Jumlah akuisisi sangat penting untuk perkiraan koherensi, yang pada gilirannya memungkinkan identifikasi PS yang sesuai. Penggunaan jumlah akuisisi yang tidak mencukupi akan menghasilkan estimasi koherensi yang tinggi di seluruh citra, yang menghasilkan perkiraan yang berlebihan dari PS dan akibatnya perpindahan palsu. Identifikasi PS umumnya dianggap dapat diandalkan ketika 20 atau lebih Akuisisi digunakan dan teratur, dalam istilah sementara, akuisisi tersedia. PS harus secara eksklusif digunakan di daerah perkotaan, atau secara umum, di mana hamburan tetap stabil dalam istilah fase radiometrik dan interferometri. Tergantung pada stabilitas hamburan (koherensi waktu), presisi perpindahan dapat mencapai milimeter, sedangkan kecepatan maksimum dibatasi oleh jarak waktu minimum antara akuisisi dan panjang gelombang sensor.

Sedangkan *Small Baseline Subset* (SBAS) ditujukan untuk analisis target terdistribusi. Produk yang dihasilkan menyerupai yang dihasilkan oleh DINSAR konvensional: perbedaan utamanya adalah bahwa SBAS memungkinkan analisis deret waktu besar, sementara DInSAR terbatas pada

2-, 3-, dan 4-pass. Sehubungan dengan PS, teknik SBAS kurang sensitif terhadap jumlah akuisisi, karena memanfaatkan koherensi spasial yang didistribusikan, bukan secara eksklusif mempertimbangkan poin tunggal, seperti dalam PS. Namun, secara umum, perlu disebutkan, bahwa semakin banyak akuisisi, semakin baik kualitas produk yang dihasilkan, ini juga karena komponen atmosfer dapat lebih baik diperkirakan dan dikurangi. Mengenai perpindahan, sehubungan dengan teknik PS, SBAS tidak terbatas pada yang linear: faktanya, di samping perpindahan linear, model kuadratik dan kubik didukung. Selain itu, tidak ada pemindahan model yang diturunkan. Pada perpindahan maksimum, sementara tidak ada kendala dalam jangka waktu, perpindahan terbatas sehubungan dengan variabilitas spasial, karena fase pembukaan. Selain itu, pendekatan SBAS lebih kuat dari pada PS, karena mengambil keuntungan dari redundansi yang lebih tinggi dari semua interferogram silang yang tersedia (Sarmap, 2014).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Tempat : Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh dan Laboratorium
Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Alamat : Jl. LAPAN No. 70, Pekayon, Jakarta Timur, Jakarta 13710 dan
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung.

Waktu : Februari – November 2018

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Laptop dengan spesifikasi *processor* Intel Core I7-4700HQ 2.40 GHz,
NVIDIA GEFORCE 745M 2 Gbyte, 8 Gbyte RAM, 250 Gbyte SSD,
dan 500 Gbyte HDD.
- b. Peta Wilayah Kota Bandar Lampung.

2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Microsoft Windows 10 Pro 64-bit, sebagai *operating system*.

- b. Microsoft Office versi 2016, untuk pengetikan kata (laporan), pengolahan angka, serta pemaparan hasil penelitian (presentasi).
- c. SARProz versi 2.0, untuk pengolahan data SAR.
- d. MATLAB *Compiler Runtime* versi 8.3 (R2014a), untuk menerjemahkan *source code* kedalam Bahasa objek.
- e. ArcGIS versi 10.3, untuk melakukan operasi data raster, vektor, serta representasi data.
- f. Google Earth Pro versi 7.3.2.5491, untuk memvisualisasikan data hasil penelitian pada permukaan bumi secara virtual.

3. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

- a. *Dataset* ALOS-PALSAR dalam polarisasi sejajar horizontal (HH) pada mode akuisisi *ascending* di wilayah Kota Bandar Lampung yang diperoleh dari ASF ALASKA. *Dataset* data penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 5** berikut:

Tabel 5. ALOS-PALSAR *dataset*

No.	Tanggal Akuisisi	Tipe Akuisisi
1	21-12-2006	FBS
2	23-06-2007	FBD
3	08-08-2007	FBD
4	23-09-2007	FBD
5	08-02-2008	FBS
6	10-05-2008	FBD
7	25-06-2008	FBD
8	25-09-2008	FBD
9	01-07-2010	FBD
10	16-08-2010	FBD
11	01-10-2010	FBD

Tabel 6. SENTINEL-1 *dataset*

No.	Tanggal Akuisisi	Tipe Akuisisi
1	04-04-2017	FBD
2	28-04-2017	FBD
3	22-05-2017	FBD
4	14-08-2017	FBD
5	26-08-2017	FBD
6	13-10-2017	FBD
7	25-10-2017	FBD
8	06-11-2017	FBD
9	18-11-2017	FBD
10	30-11-2017	FBD
11	12-12-2017	FBD
12	24-12-2017	FBD
13	05-01-2018	FBD
14	17-01-2018	FBD
15	29-01-2018	FBD
16	10-02-2018	FBD
17	22-02-2018	FBD
18	06-03-2018	FBD
19	18-03-2018	FBD
20	30-03-2018	FBD
21	11-04-2018	FBD
22	23-04-2018	FBD
23	05-05-2018	FBD
24	17-05-2018	FBD
25	29-05-2018	FBD
26	10-06-2018	FBD
27	22-06-2018	FBD
28	04-07-2018	FBD
29	16-07-2018	FBD
30	28-07-2018	FBD
31	09-08-2018	FBD
32	21-08-2018	FBD
33	02-09-2018	FBD
34	14-09-2018	FBD
35	26-09-2018	FBD
36	08-10-2018	FBD
37	20-10-2018	FBD
38	01-11-2018	FBD
39	13-11-2018	FBD
40	25-11-2018	FBD
41	07-12-2018	FBD

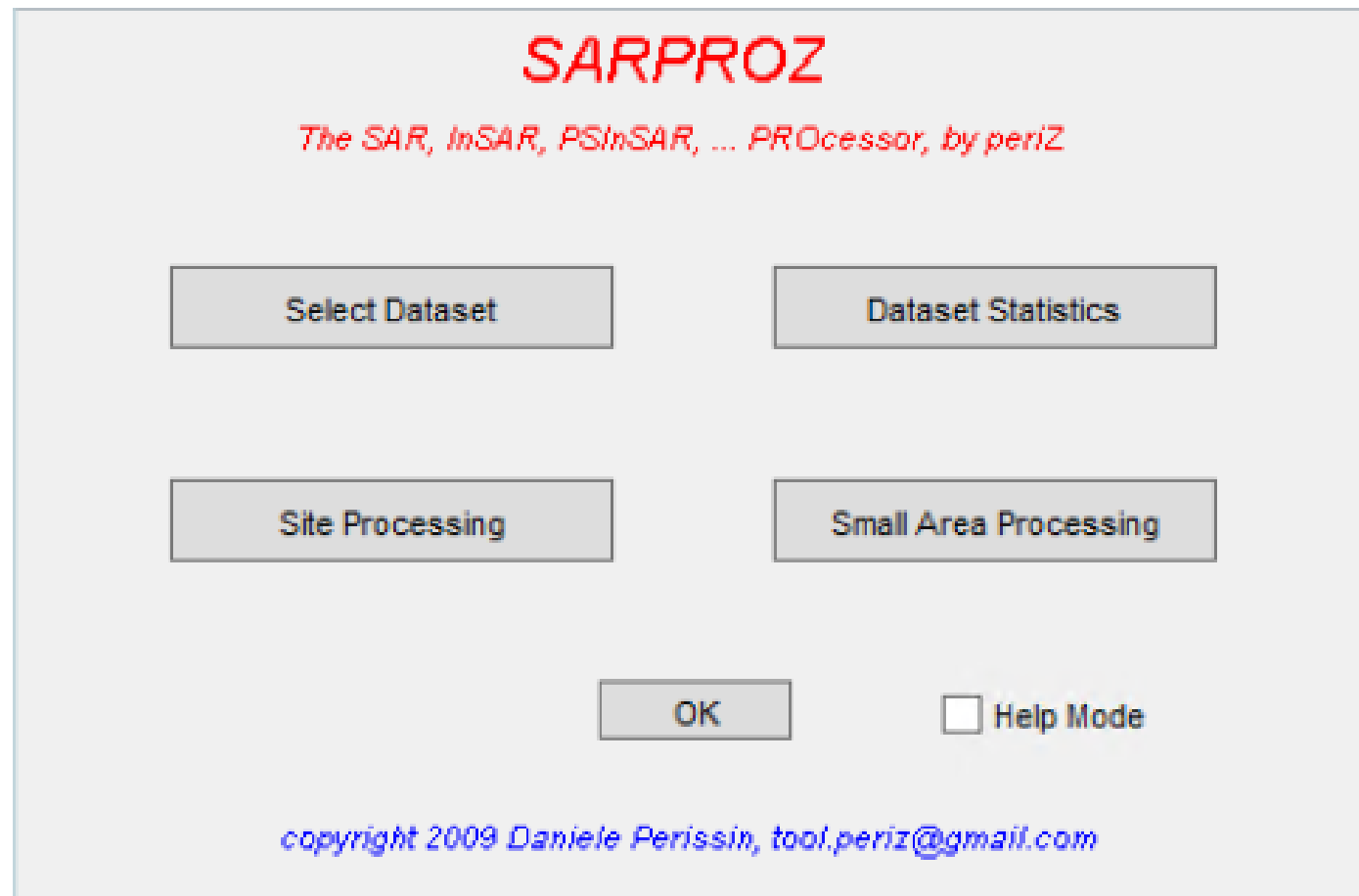
- b. *Dataset* SENTINEL-1 dalam polarisasi sejajar vertikal (VV) pada mode akuisisi *ascending* di wilayah Kota Bandar Lampung yang diperoleh dari ASF ALASKA. *Dataset* data penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 6** di atas.
- c. *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM 1-Arc *Second* wilayah Kota Bandar Lampung dan sekitarnya yang diperoleh dari *Earth Explorer* - USGS.
- d. Data gempa bumi tahun 2006 – 2018 di wilayah Bandar Lampung yang diperoleh dari US *Geological Survey*.
- e. Peta geologi daerah penelitian yang diperoleh dari Puslitbang Geologi.
- f. Data spasial pendukung daerah penelitian yang diperoleh dari BPS, Indonesian Geospatial Portal, GoogleEarth, dan OpenStreetMap.

C. Pengolahan Data

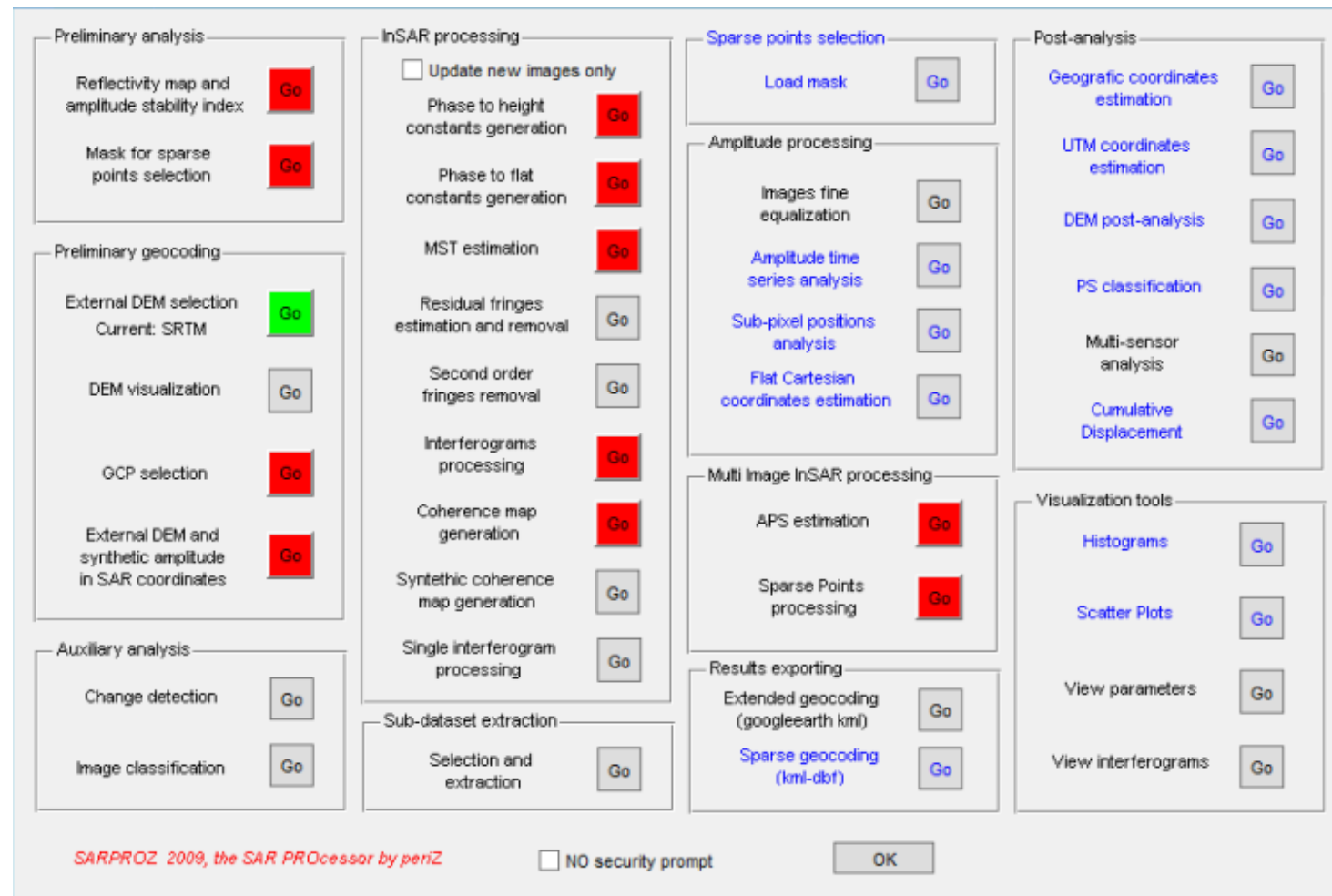
Berikut ini merupakan prosedur yang dilakukan dalam melakukan pengolahan data SAR menurut situs resmi SARProz :

1. *Dataset Selection*

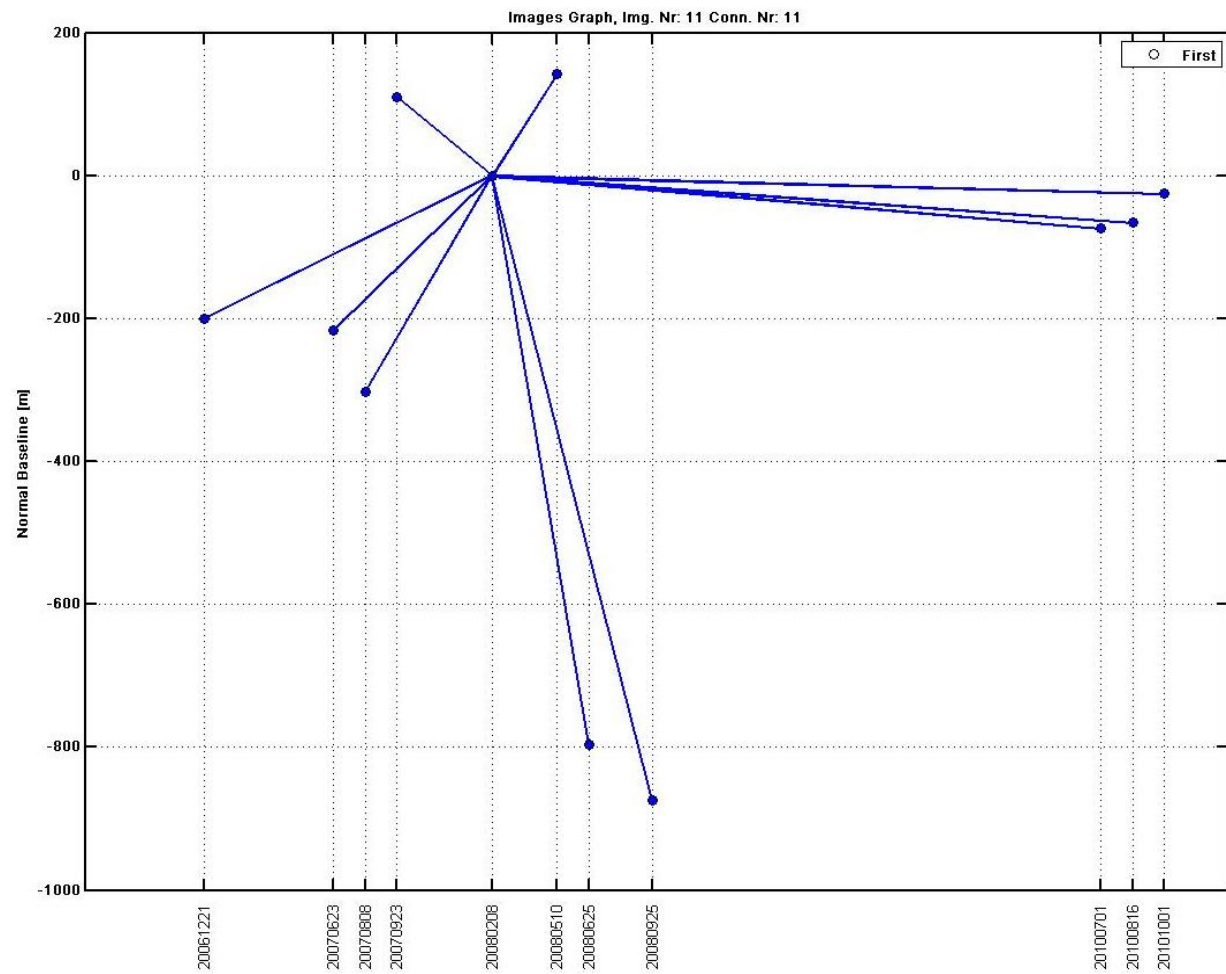
Pada fungsi ini dilakukan pemilihan *dataset* citra SAR yang akan digunakan dalam pengolahan data. Citra SAR yang dapat digunakan adalah data yang sudah dalam bentuk SLC (*Single Look Complex*). Di dalam data ini terdapat informasi amplitud dan fase.



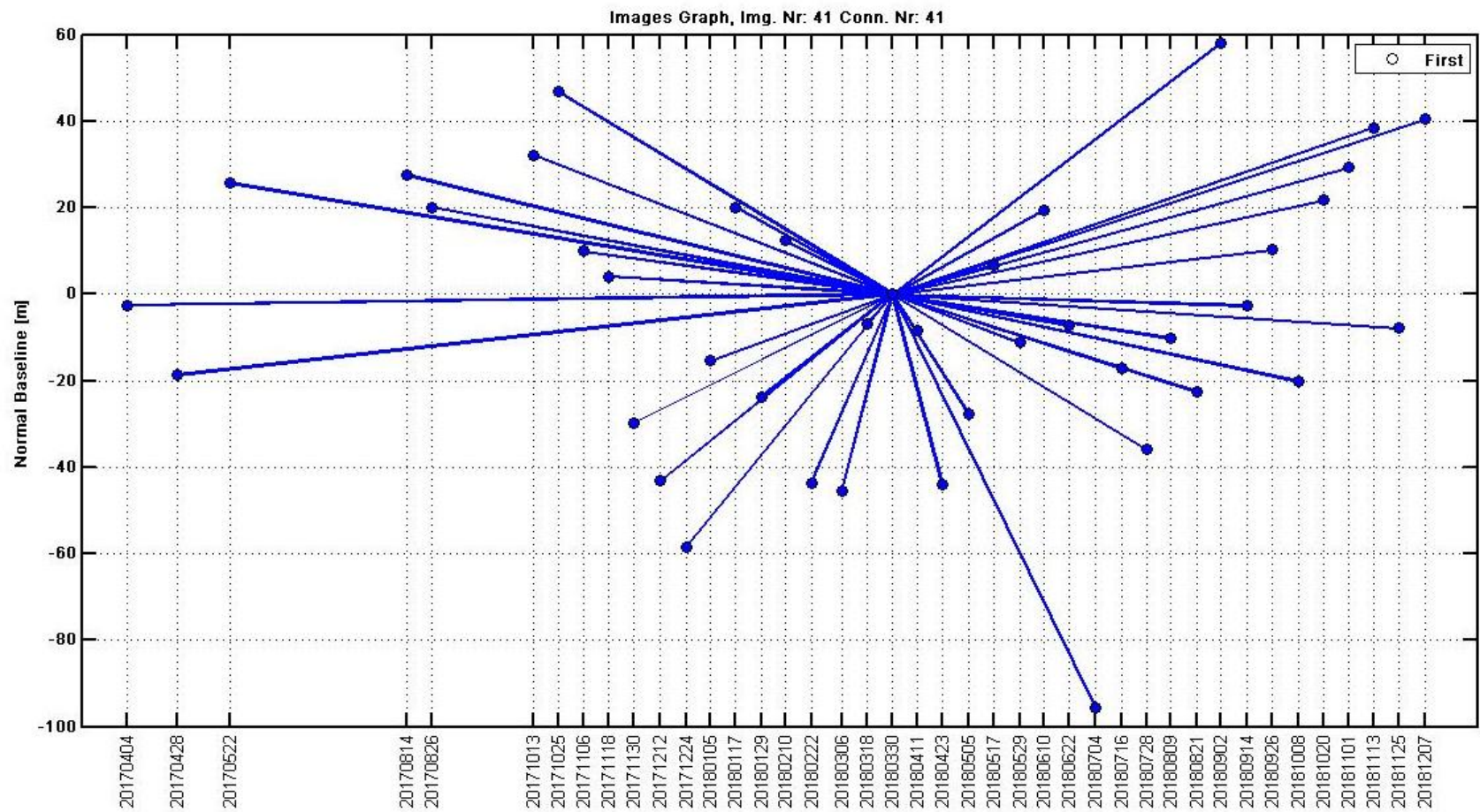
Gambar 11. Tampilan Muka *Software* SARPROZ yang digunakan dalam Pengolahan Data Penelitian



Gambar 12. Urutan Langkah-langkah dalam Pengolahan Citra SAR



Gambar 13. Tabel Koneksi antar Citra ALOS Palsar



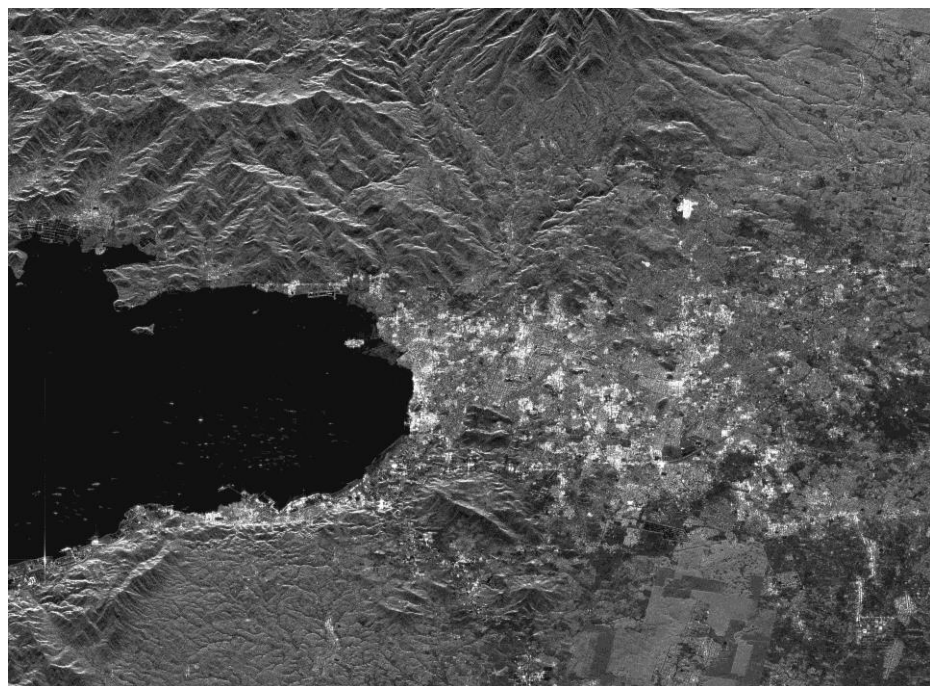
Gambar 14. Tabel Koneksi antar Citra Sentinel 1

2. *SLC Data Processing*

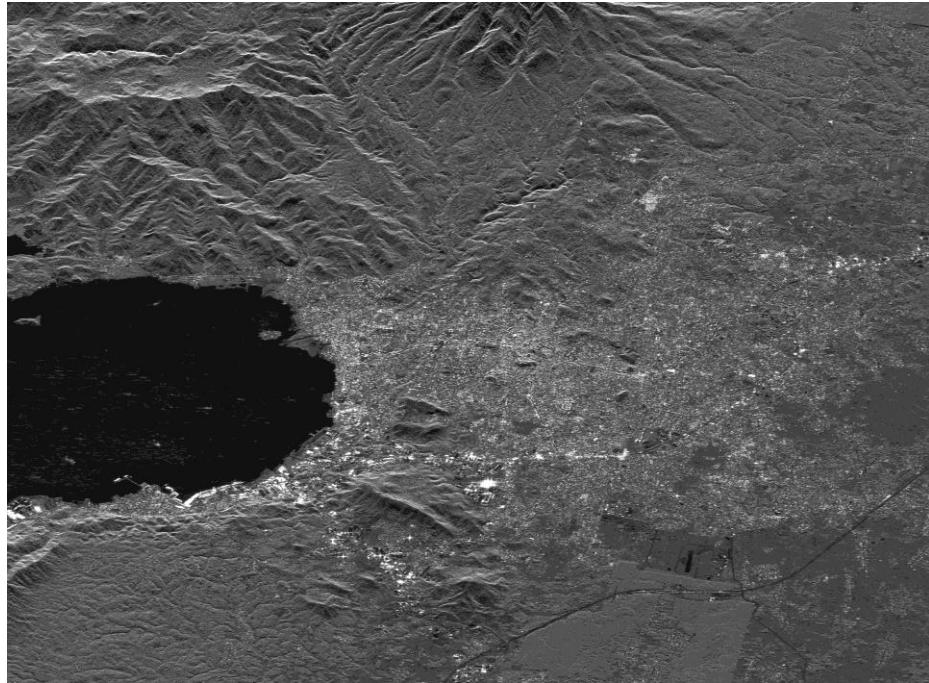
Selanjutnya dilakukan tahap pemilihan fokus area penelitian (*subset*) agar data SAR yang diolah memiliki ukuran file yang lebih kecil sehingga proses pengolahan data menjadi lebih cepat. Kemudian dilakukan proses *Connection Graph Generation*, yaitu mendefinisikan kombinasi pasangan data SAR (*Master* dan *Slave*) dan jaringan koneksi yang digunakan untuk generasi berbagai *differential interferogram*.

3. *Preliminary Analysis*

- a. *Reflectivity Map*, pada tahap ini dihasilkan tampilan atau citra dalam bentuk pantulan yang dihasilkan oleh objek yang ada di permukaan bumi sebagai rata-rata temporal dari semua *dataset* citra yang telah dipilih.

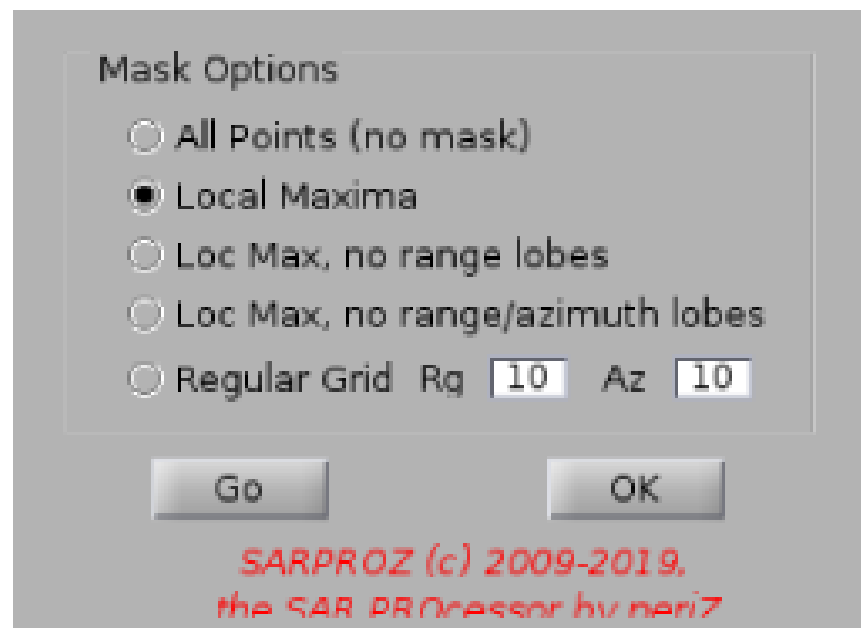


Gambar 15. Refleksi Citra ALOS Palsar



Gambar 16. Refleksi Citra Sentinel 1

- b. *Mask Generation*, fungsi ini digunakan untuk pemilihan *sparse points*.



Gambar 17. Tampilan menu *Mask Generation*

4. Preliminary Geocoding

- a. *External DEM Selection*, fungsi ini digunakan untuk memilih sumber DEM eksternal. Umumnya yang digunakan adalah DEM SRTM.
- b. *Ground Control Point (GCP) Selection*, pada tahap ini dilakukan pemilihan titik kontrol yang nantinya akan digunakan untuk memproyeksikan citra SAR yang masih dalam geometri *slant range* ke sistem koordinat global.

The image shows a software interface for setting Ground Control Point (GCP) coordinates. The 'GCP Coordinates' section is highlighted with a red box, containing the following fields:

Field	Value
North [m] / Lat [°]	-5.363839
East [m] / Lon [°]	105.242517
Ext. DEM Height	126
Sample	3326
Line	1564

The 'Coord' section shows 'Geo' selected. The 'Pixel Selection' section has 'Adjust to Radar Target' selected. The 'Auto GCP' section has 'Keep Current Orbits' and 'Through Ext. DEM' buttons. The 'GCP Plot' section has 'Plot Mean', 'GCP Kml', 'Mean Kml', and 'OVR' (checked) buttons. The 'Write' button is highlighted with a red box. The 'Ok' button is also highlighted with a red box. The footer text reads 'SARPROZ (c) 2009-2018, the SAR PROcessor by periZ'.

Gambar 18. Koordinat Geografis yang Dijadikan sebagai *Ground Control Point*

- c. *Ext. DEM in SAR Coordinates*, fungsi ini memproses DEM eksternal dan amplitude sintetik kedalam koordinat SAR atau dalam bentuk geometri *slant range*.

- d. *Coregistration Refinement*, fungsi ini digunakan untuk memperbaiki co-registrasi menggunakan DEM eksternal. Khususnya pada kasus data beresolusi tinggi di daerah pegunungan yang memiliki *normal baseline* yang tinggi, dimana distorsi geometrik dapat menyebabkan dekorelasi untuk titik-titik target.

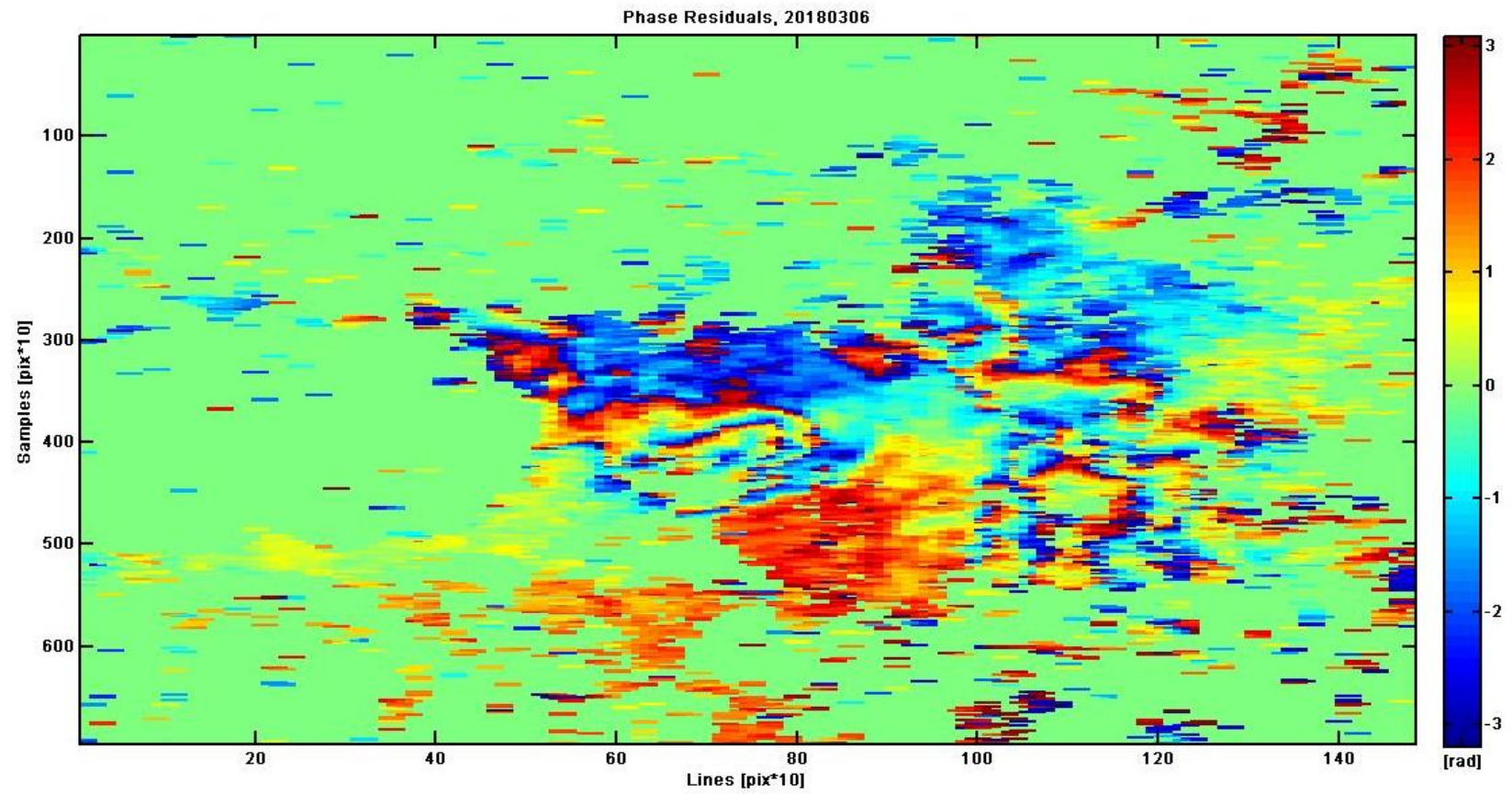
5. *InSAR Processing (Reset Height or Flat Constant)*

Pada tahap ini dihasilkan fase *interferometric* berdasarkan pasangan data SAR hasil proses *coregistration*, dengan saling mengalikan nilai *pixel master* dan nilai *pixel slave*. Selanjutnya, perangkat lunak akan secara otomatis memproses koefisien *phase to height* dan *phase to flat* untuk digunakan dalam memperbaiki interferogram pada medan datar maupun curam (ekstrem).

6. *Multi-Image InSAR Processing*

- a. *Sparse Points Selection*, pada tahap ini dilakukan pemilihan *sparse points* berdasarkan nilai *Amplitude Stability Index* yang kita inginkan untuk digunakan dalam tahap pengolahan data lebih lanjut. Pemilihan awal Kandidat PS (PSC) dilakukan dengan menghitung rata-rata A (*amplitude*) dan simpangan baku σ_a . Sebuah piksel dianggap sebagai kandidat PS jika memenuhi kriteria indeks stabilitas *amplitude* sebagai berikut :

$$D_{stab} = 1 - \frac{\bar{a}}{\sigma_a} > 0.8 \quad (20)$$



Gambar 19. Salah Satu Interferogram yang Dihasilkan oleh Pasangan *Master* dan *Slave*

- b. *Connection Processing*, fungsi ini dilakukan untuk mendapatkan histogram dan grafik koneksi dari titik-titik PS. Dengan begitu dapat diketahui kualitas data atau titik-titik PS berdasarkan nilai koherensinya.
- c. *Atmospheric Phase Screen (APS) Estimation*, fungsi ini digunakan untuk mengatasi pengaruh atmosfer yang dialami oleh sinyal radar yang ditembakkan oleh satelit yang dapat menimbulkan artifak pada interferogram. Ada beberapa pilihan pada prosesing *APS estimation*, yaitu *inverted parameters*, *inverted residuals*, *triangulation inverted residuals*, dan *stratified*. Namun apabila data yang dimiliki sangat stabil dan memiliki nilai koherensi yang baik, maka tipe *inverted residuals* dapat digunakan untuk memperoleh hasil APS yang baik.
- d. *Sparse Points Processing*, Tahap ini tidak jauh berbeda dengan tahap sebelumnya, pada menu yang ada dilakukan input parameter yang sudah didapatkan dari tahap yang sebelumnya. Mulai dari nilai *threshold* parameter *Amplitude Stability Index* hingga tipe *APS estimation*. *Output* yang dihasilkan pada tahap ini berupa histogram *temporal coherence*, *estimated velocity*, *cumulative displacement*, *estimated height* dan *residual height* masing-masing *sparse points*, serta *residual phase* dari pemisahan APS dan nilai parameter estimasi.

7. Display The Results

Pada tahap ini hasil akhir dari proses yang telah dilaksanakan akan ditampilkan baik itu dalam bentuk data raster maupun vektor yang sudah terproyeksi kedalam sistem koordinat global.

APS Processing - E:\Sentinel\

Images Combination
 STAR, 1 sensor Plot Graph Images Nr. 41 Conn. Nr. 41 Missing APS: 41 ☐ Update Mode ☐ APS pre-remo...

Sparse Points Selection
 Parameter Thresh. DS DL PSC Nr:
 Amp. Stab. Index 1-Si... .8 20 0 2358 Go Plot Save Load

Graph Creation
 Min Nr Min R Max R Connections Nr:
 Delaunay 10 30 Inf Go Plot 7056 Save Load

Processing Parameters

	Estimate	Read	Neglect	Parameters Range	
Linear Trend	☒	☐	☐	-20	20
Height	☒	☐	☐	-150	150
Azimuth Pos.	☐	☐	☒	-1	1
Phase Shift	☐	☐	☒	-pi	pi
Thermal expans.	☐	☐	☒	-.4	.4

☒ Ext. DEM ☐ UW Smart 0 N min Gen 50

Scattering Centers 1 Polynomial Order 1 ☐ Recover

Matr. Coher. Win 15 15 Weights ☒ None ☐ Coher ☐ Amps

Connections processing
 Go Save As Clear Diff Load

Connections coherence
 Hist Plot Graph N Stats

Non-Linear Weighting
 m p M Plot
 0.8 0.88 0.95

Reference Point
 Auto Go Plot Nr 8 < >
 S: 3604, L: 1216

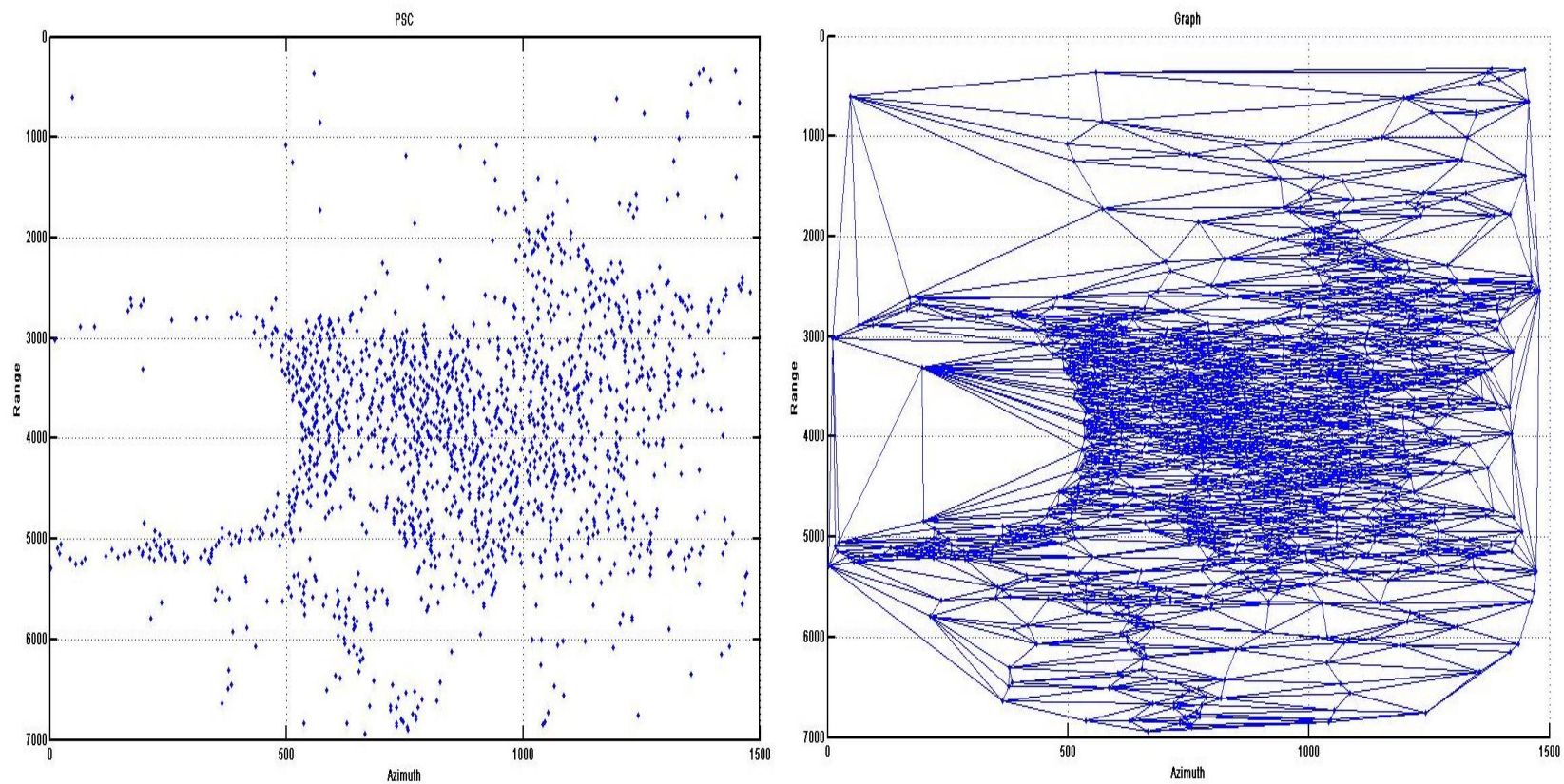
Estimated Parameters
 R r0 ds Flatten Optional Optional
 Plot 1 1 10 ☐ Save Export TS

APS options
 Type Inverted Residu... ☐ Stratif. R 150 DSF 25

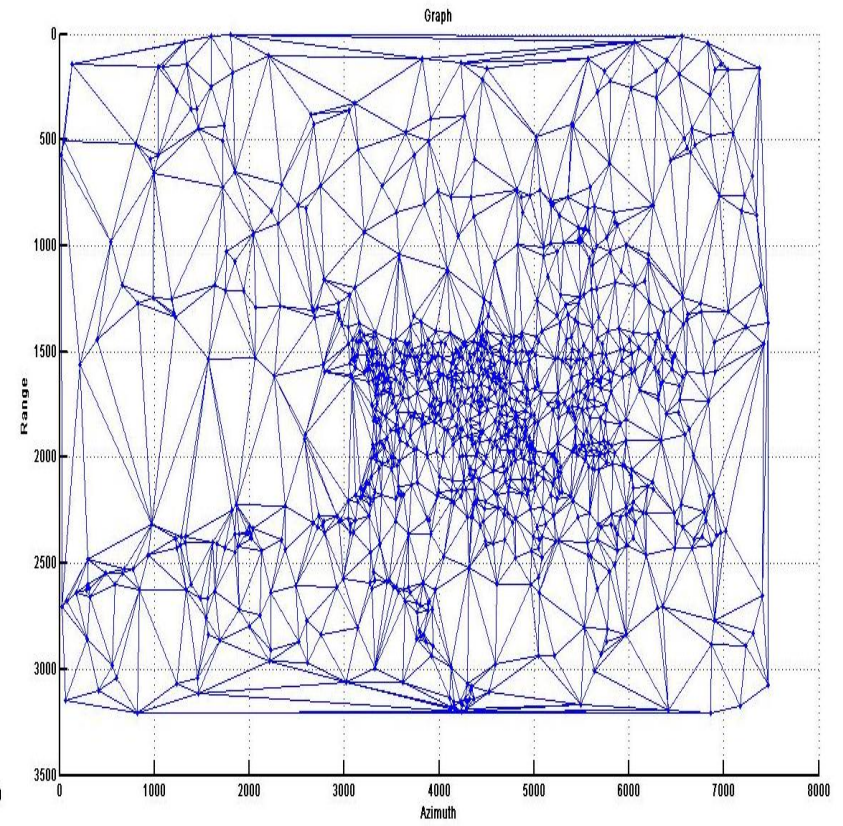
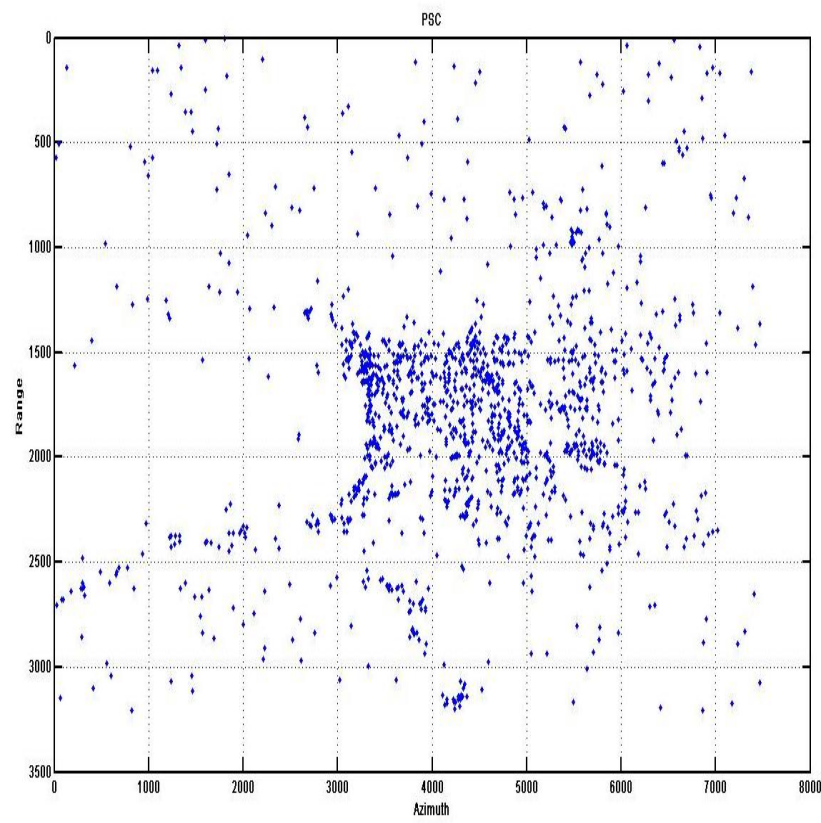
APS Estimate
 Go Plot Test OK

SARPROZ (c) 2009-2019, the SAR PROcessor by perIZ

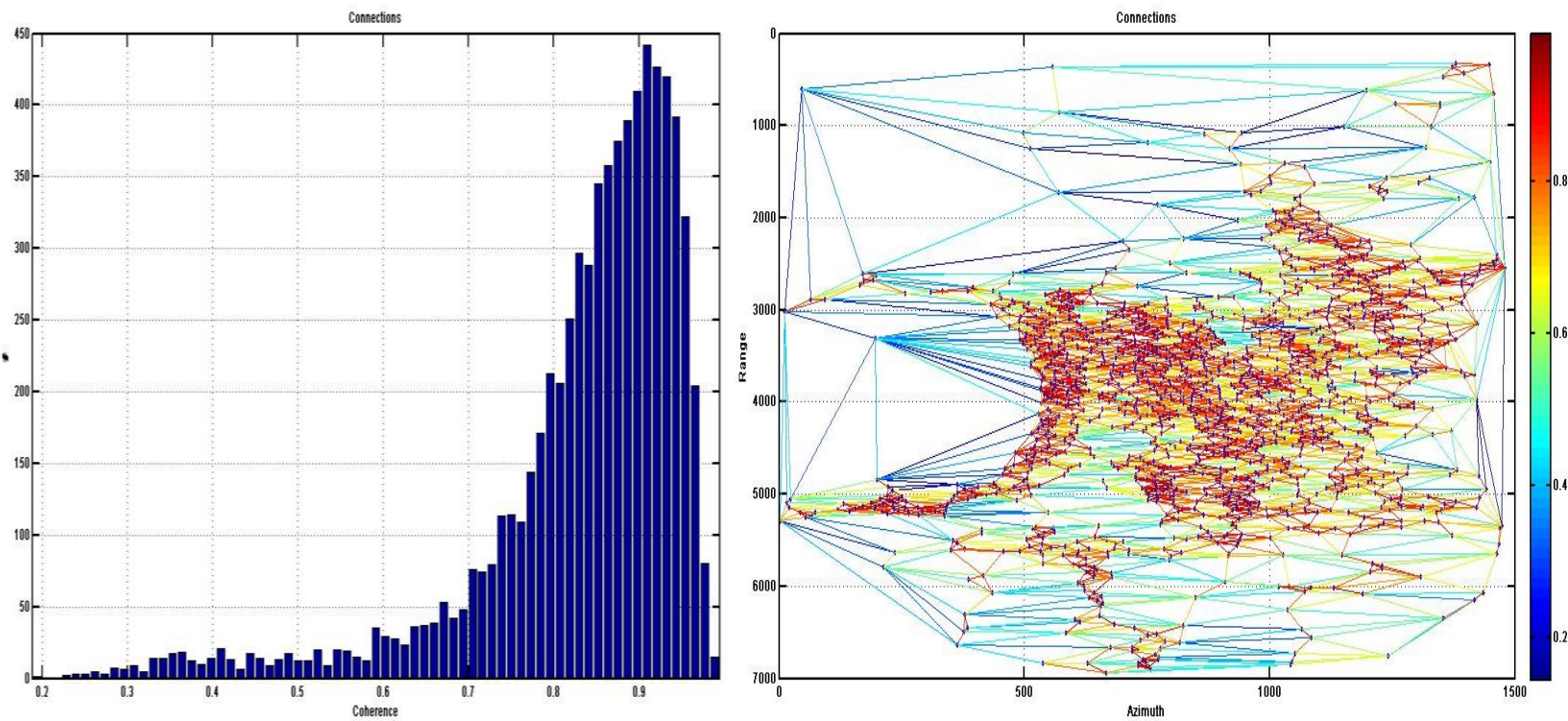
Gambar 20. Parameter yang Digunakan pada Tahap APS Processing



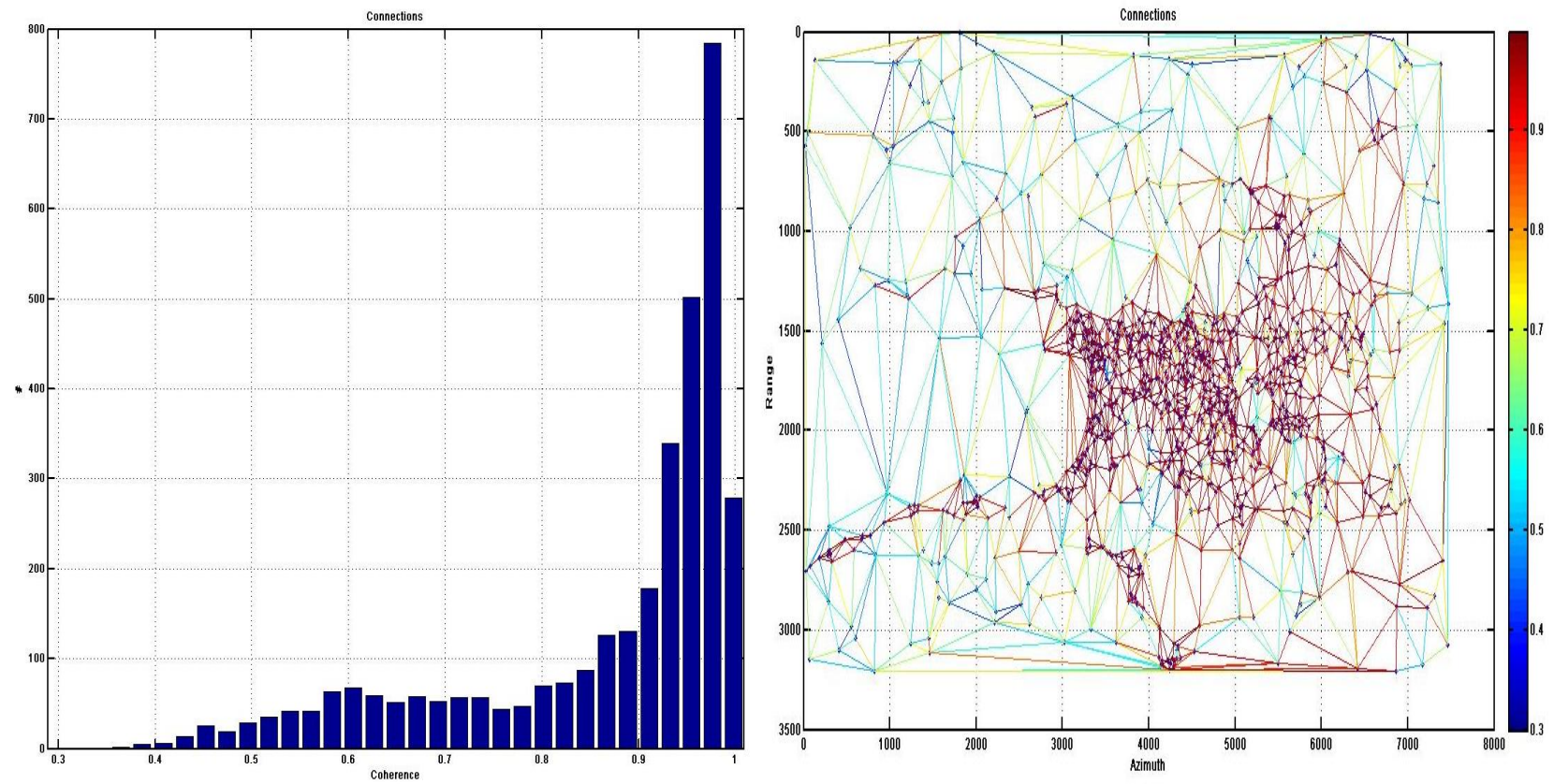
Gambar 21. Plot *Sparse Point Selection* dan *Delauney Graph Connection* Citra Sentinel 1



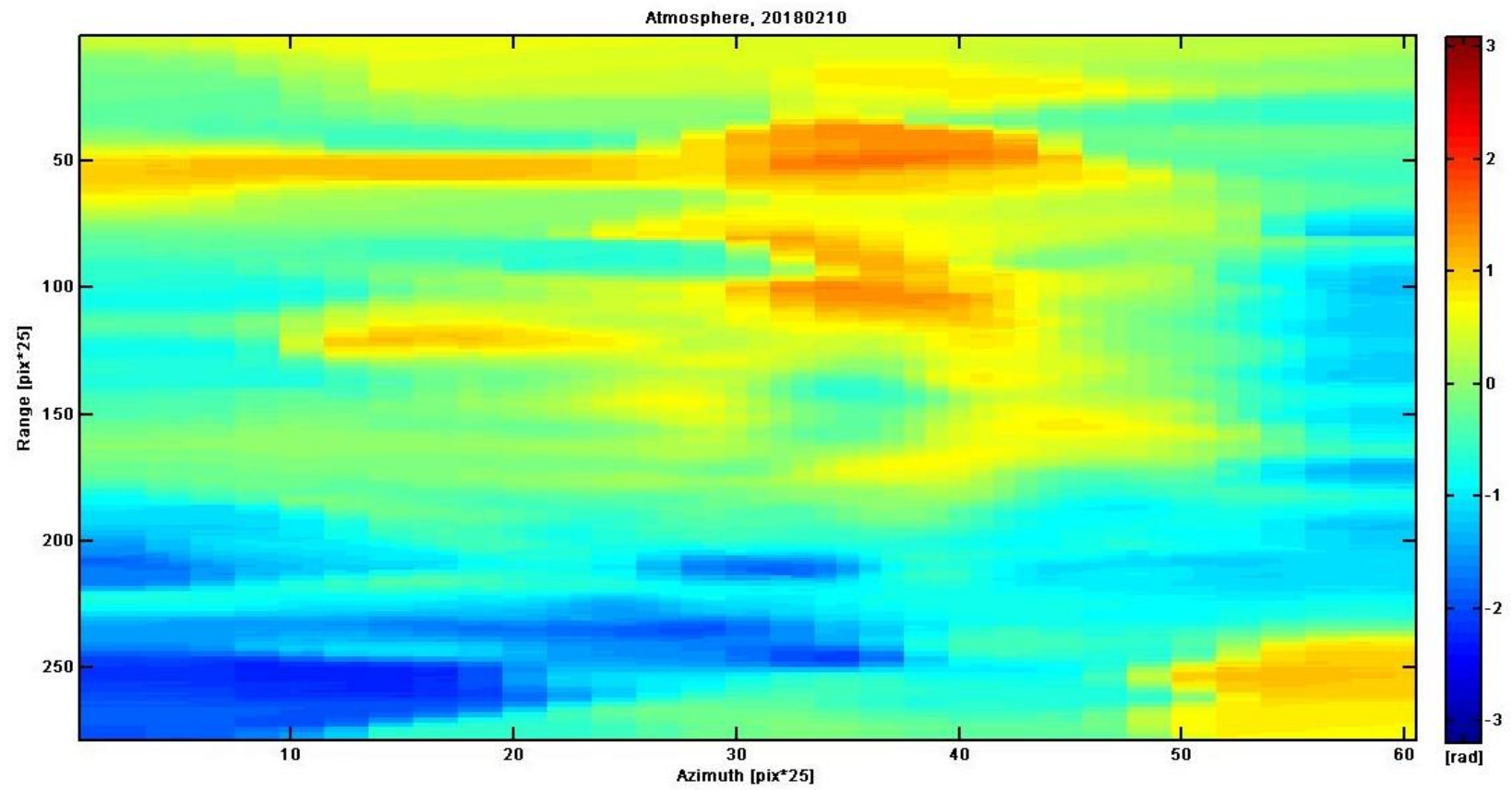
Gambar 22. Plot *Sparse Point Selection* dan *Delaunay Graph Connection* Citra ALOS Palsar



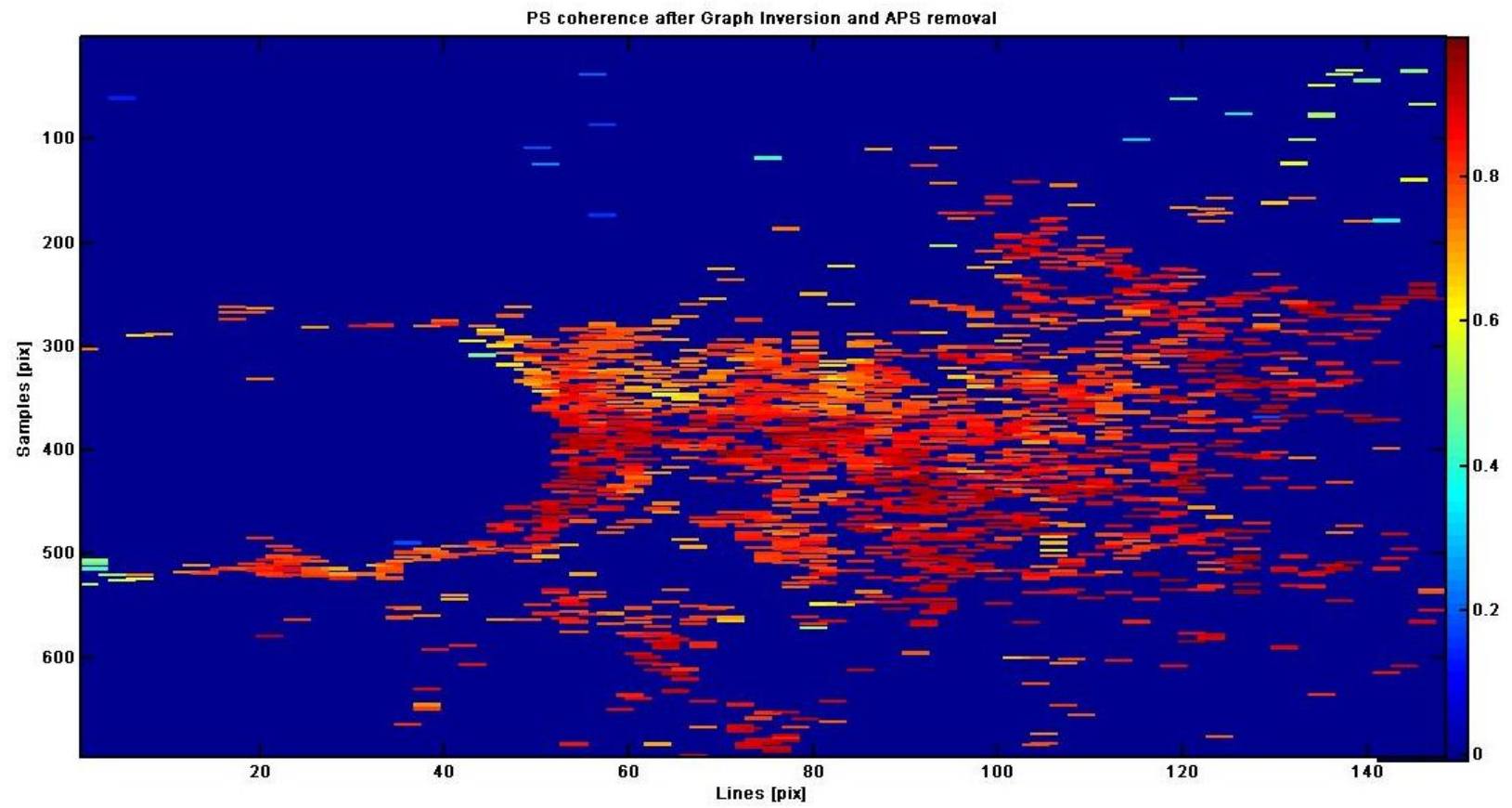
Gambar 23. Plot *Sparse Point Selection* dan *Delauney Graph Connection* Citra Sentinel 1



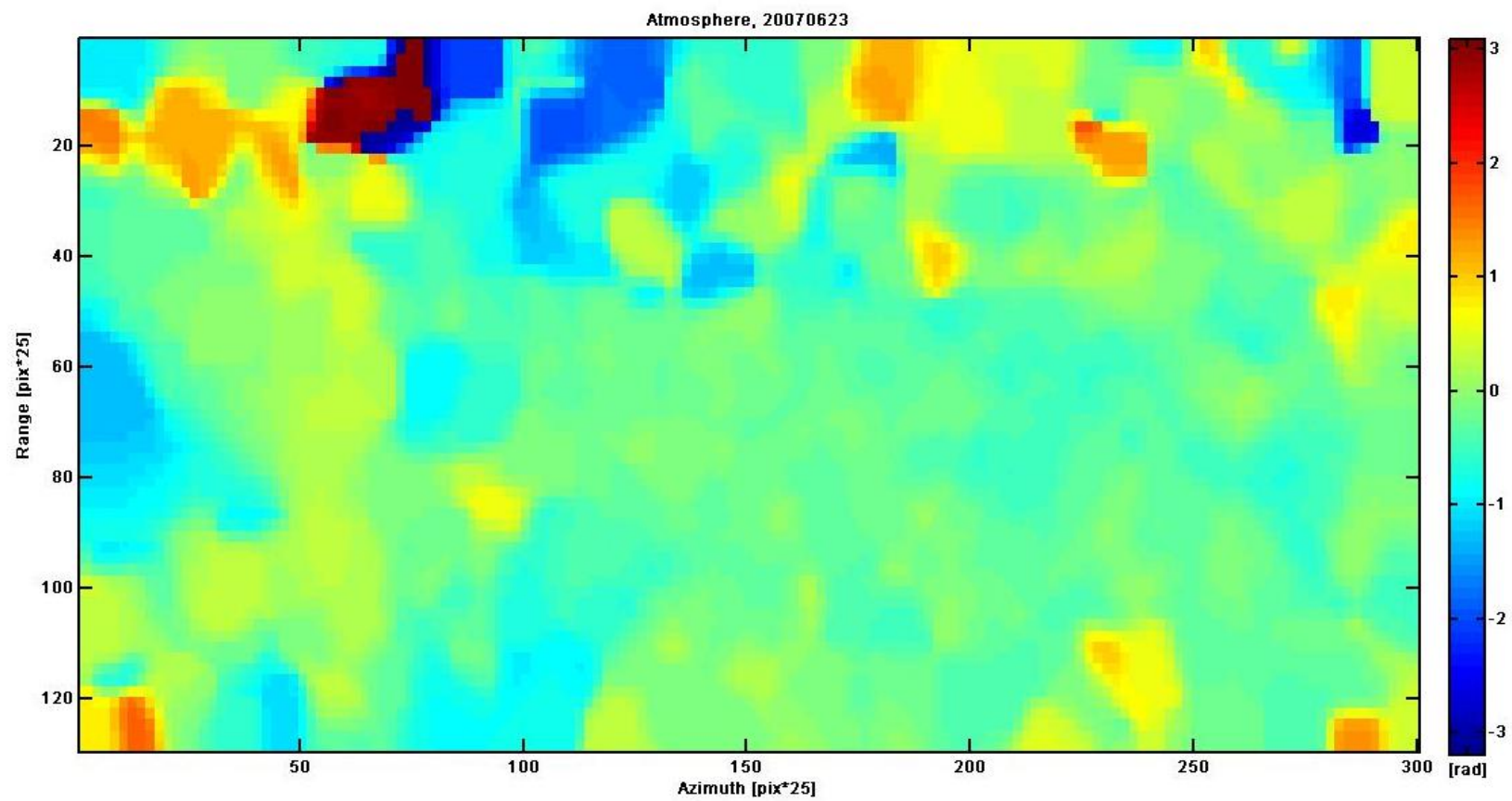
Gambar 24. Plot *Sparse Point Selection* dan *Delaunay Graph Connection* Citra ALOS Palsar



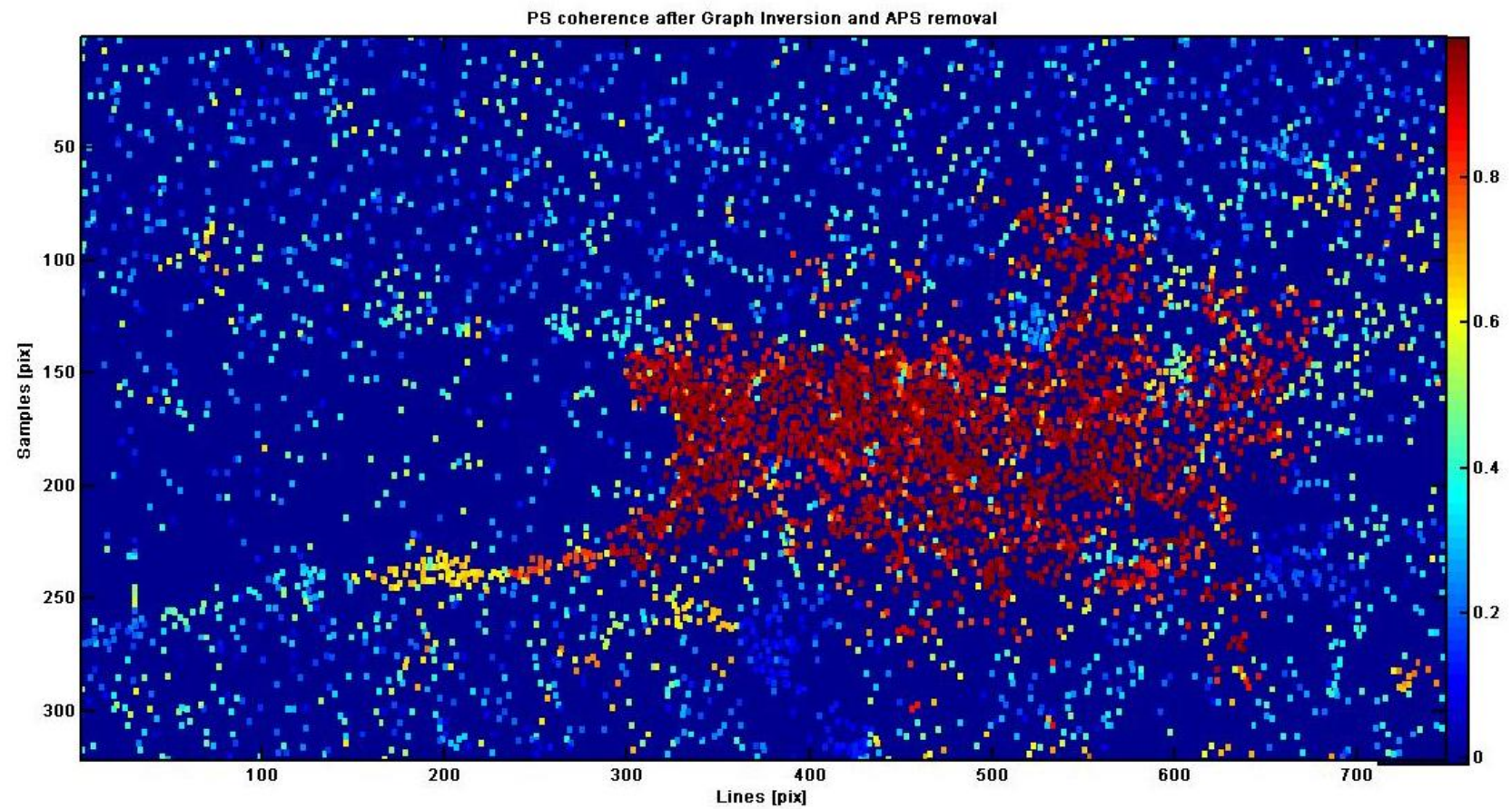
Gambar 25. Plot Hasil APS *Estimation* Sentinel 1



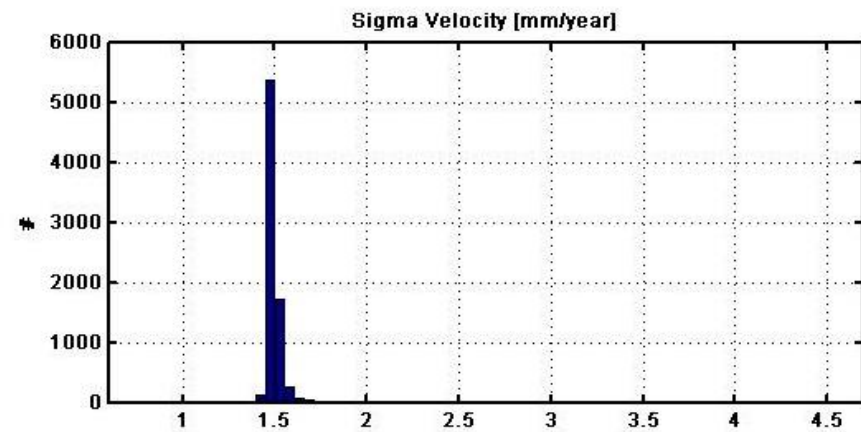
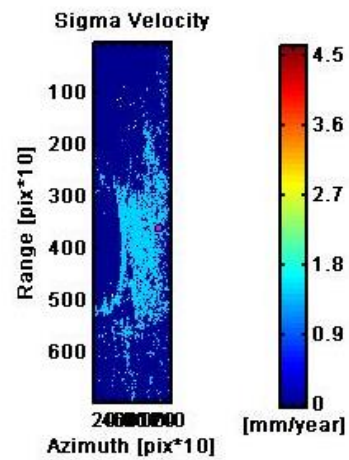
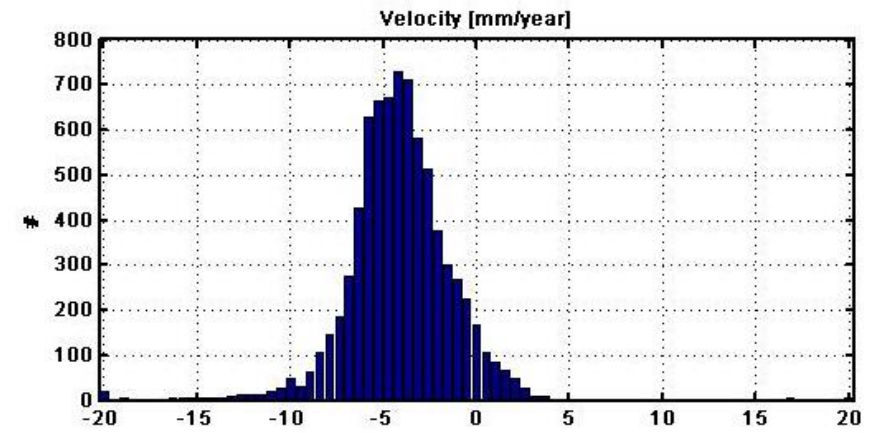
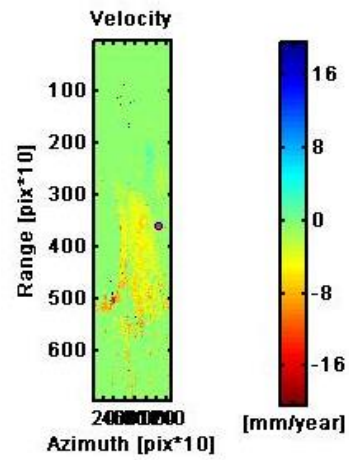
Gambar 26. Plot Koherensi Temporal Sentinel 1 setelah APS *Estimation*



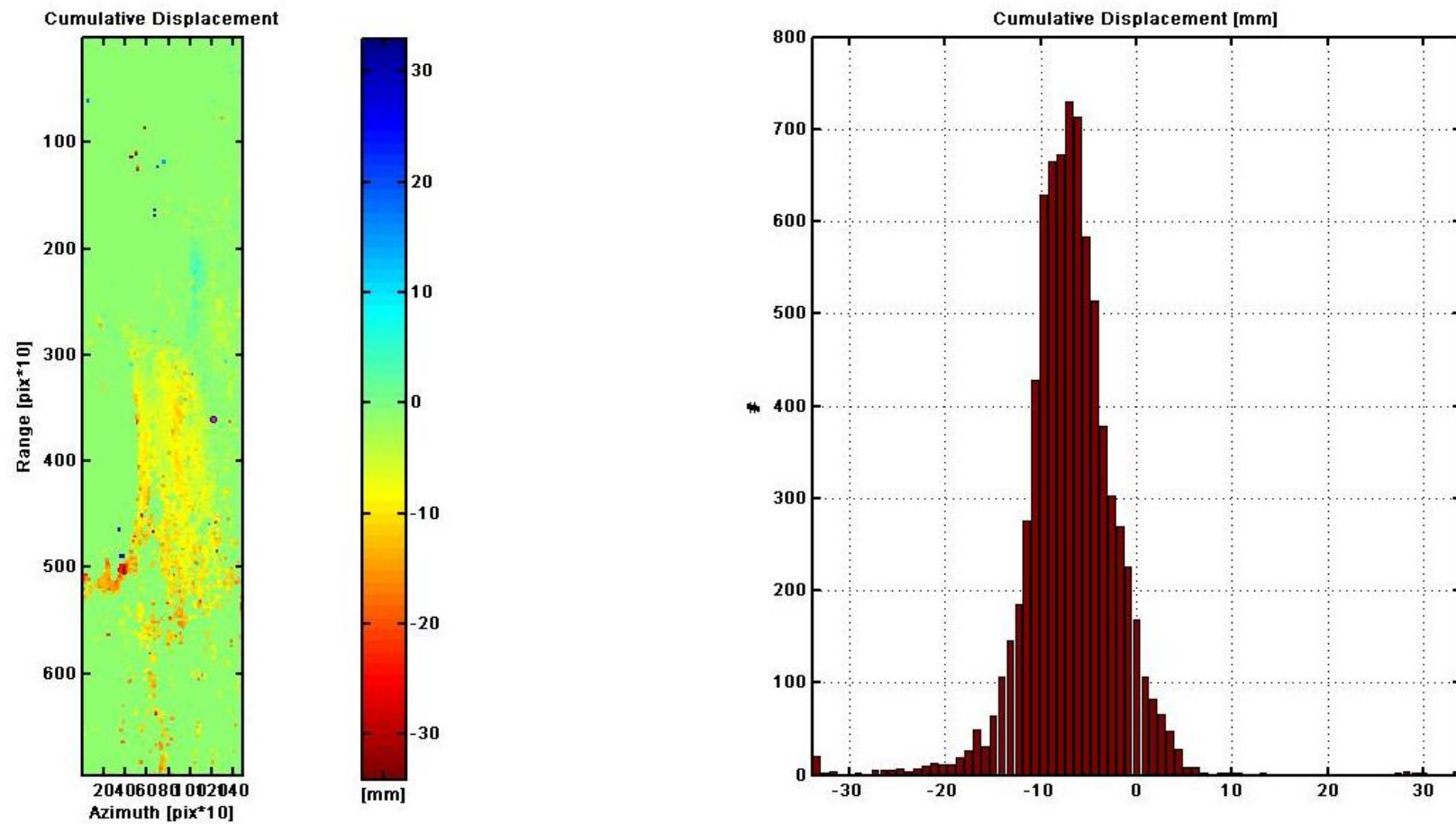
Gambar 27. Plot Hasil APS *Estimation* ALOS Palsar



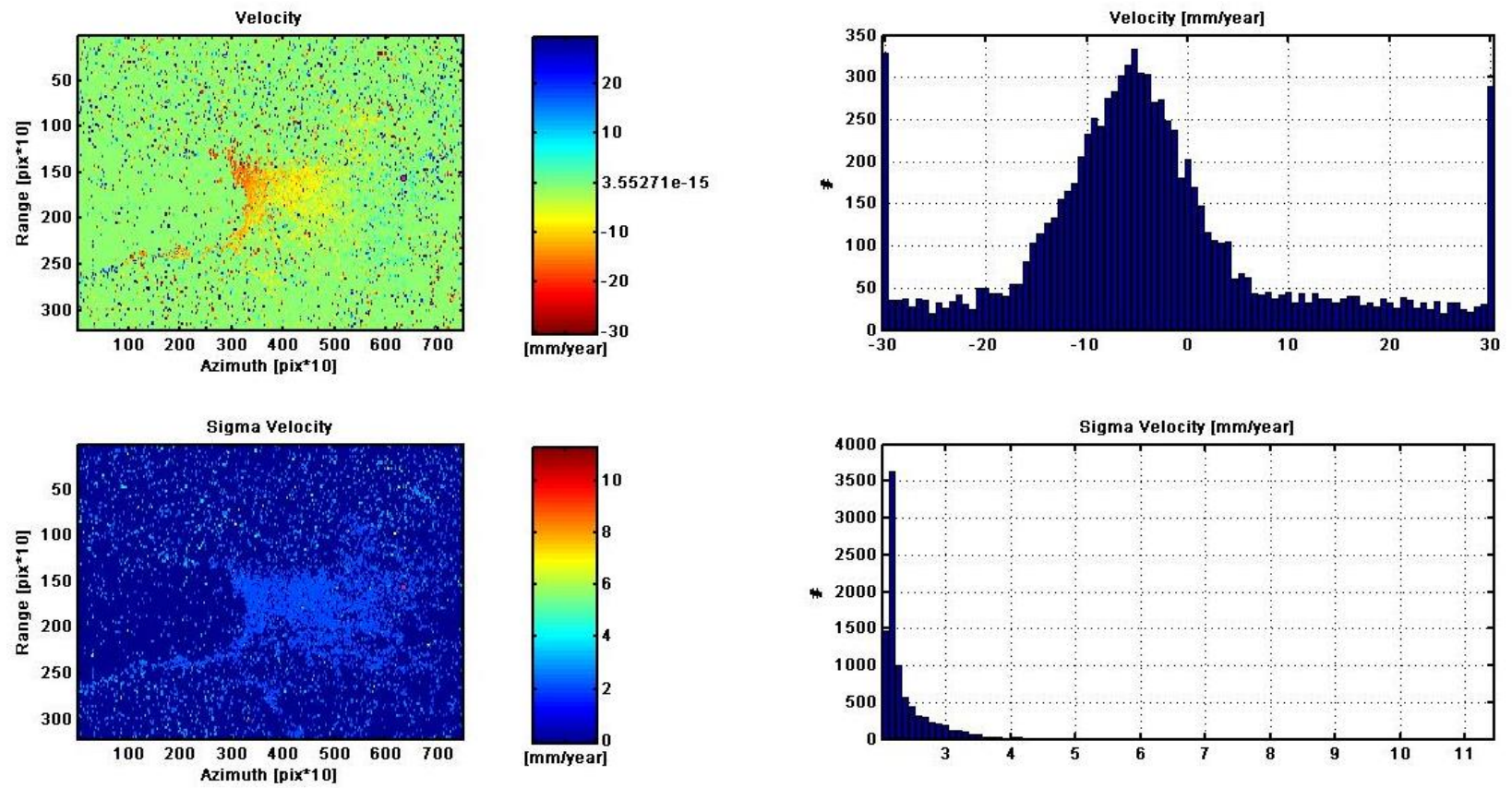
Gambar 28. Plot Koherensi Temporal ALOS Palsar setelah APS *Estimation*



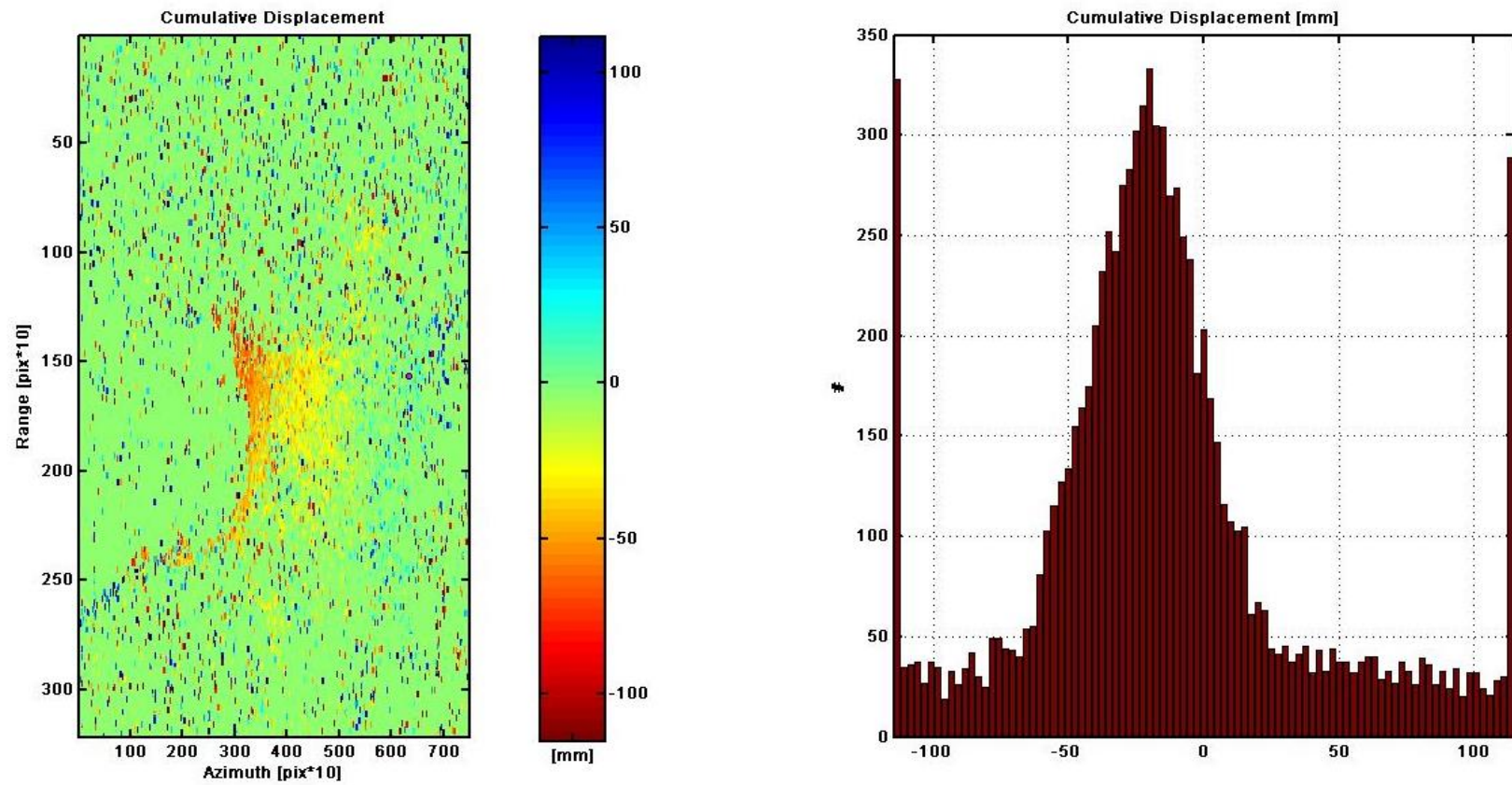
Gambar 29. Estimasi Kecepatan Deformasi dari Titik PS yang Dipilih pada Sentinel 1



Gambar 30. Estimasi Deformasi Kumulatif dari Titik PS yang Dipilih pada Sentinel 1



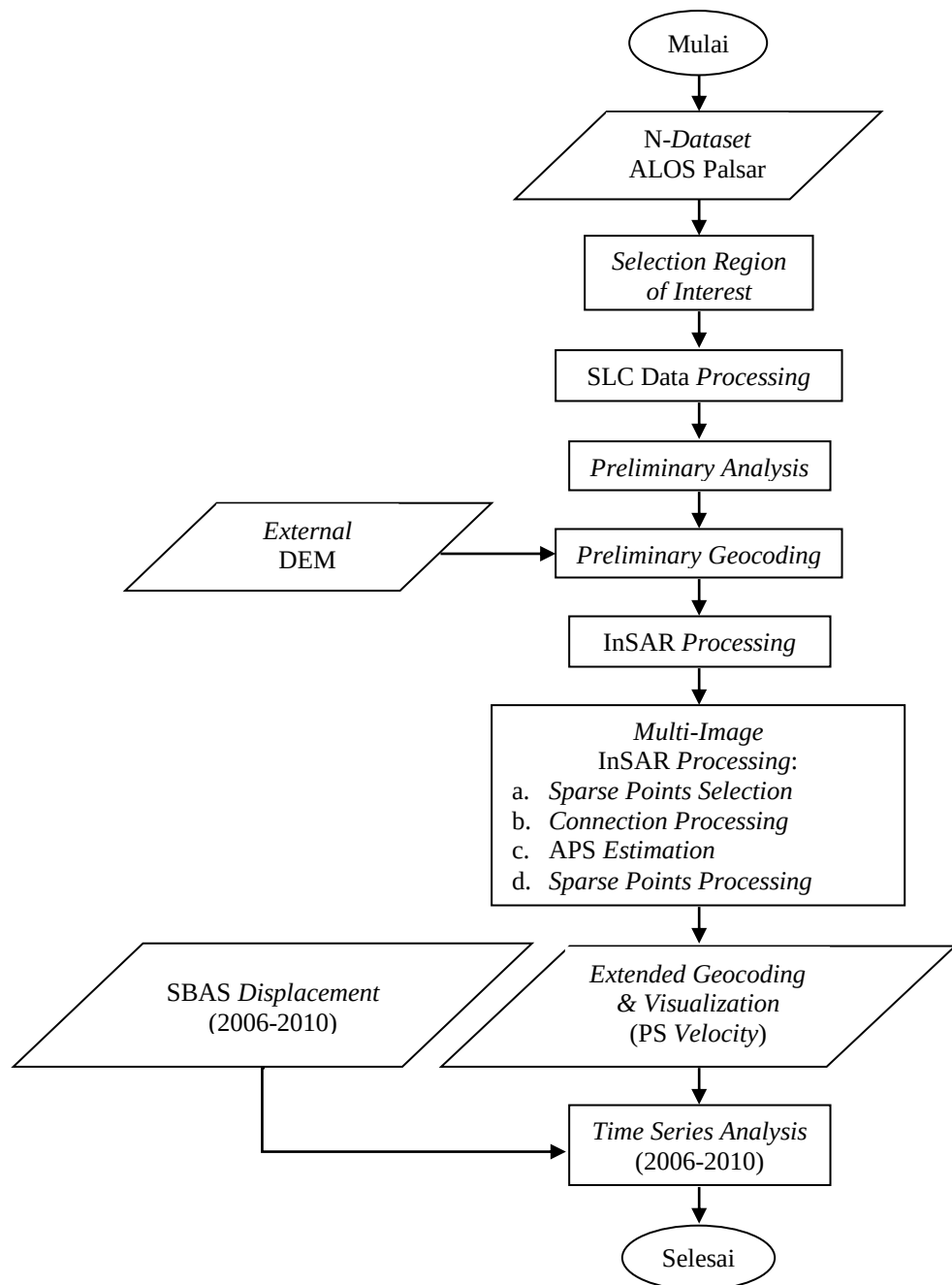
Gambar 31. Estimasi Kecepatan Deformasi dari Titik PS yang Dipilih pada ALOS Palsar



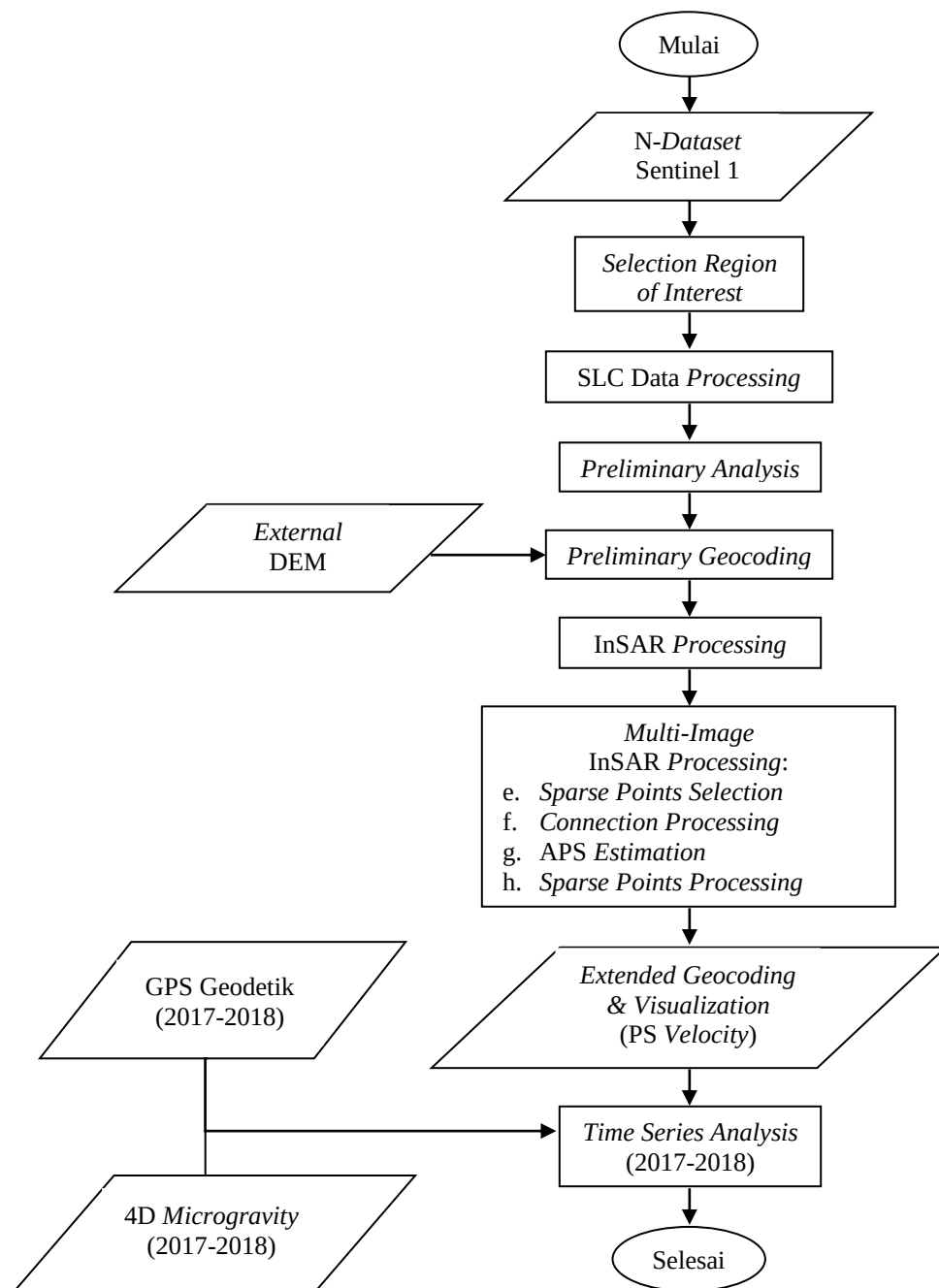
Gambar 32. Estimasi Kecepatan Deformasi dari Titik PS yang Dipilih pada ALOS Palsar

D. Diagram Alir

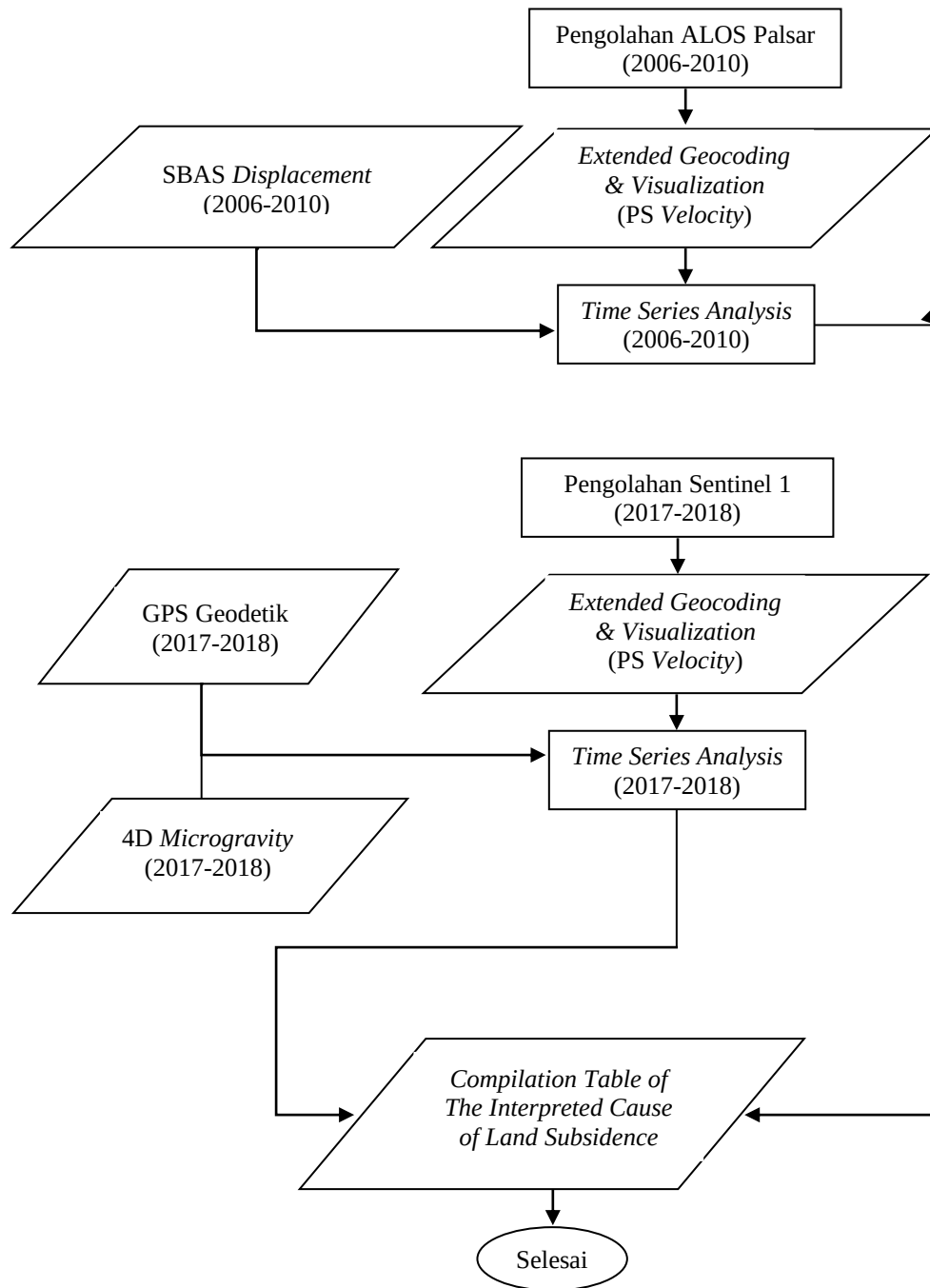
Pada penelitian ini, penulis membagi diagram alir menjadi 3 bagian sebagai berikut :



Gambar 33. Diagram Alir Pengolahan Citra ALOS Palsar



Gambar 34. Diagram Alir Pengolahan Citra Sentinel 1



Gambar 35. Diagram Alir Perbandingan dan Analisis Hasil ALOS Palsar dan Sentinel 1

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pola spasial *land subsidence* yang terjadi di Kota Bandar Lampung yaitu lokal ($10\text{-}100\text{ km}^2$) untuk bagian Timur Kota Bandar Lampung dan *patchy* ($<10\text{ km}^2$) di beberapa daerah pesisir Teluk Lampung.
2. Teknik PS menghasilkan peta kecepatan *land subsidence* yang relatif sama dengan hasil SBAS, dimana kecenderungan *land subsidence* terjadi di sepanjang wilayah pesisir Teluk Lampung dan di bagian Timur Kota Bandar Lampung.
3. Perbedaan kecepatan rata-rata *land subsidence* antara hasil SBAS dan PS berkisar antara 5 hingga 24 mm/tahun, dimana estimasi kecepatan *land subsidence* SBAS lebih tinggi dibandingkan hasil PS.
4. Berdasarkan hasil pengukuran PS rentang tahun 2006 – 2010 serta 2017 – 2018 diketahui bahwa telah terjadi peningkatan kecepatan deformasi (*land subsidence*) rata-rata sebesar 4 mm/tahun.
5. Pada beberapa daerah yaitu di Bakung, Kangkung, Sukaraja, Way Lunik, dan Panjang Utara mengalami *land subsidence* dengan kecepatan rata-rata lebih dari 5 mm/tahun, dimana deformasi yang tertinggi berada di daerah

Way Lunik (kawasan industri) dengan kecepatan rata-rata sebesar 13 mm/tahun.

6. *Land subsidence* di Kota Bandar Lampung terjadi karena kondisi geologi dekat permukaan dan juga akibat kegiatan manusia berupa alih fungsi lahan, pembebanan, pemukiman, industri serta ekstraksi air tanah.
7. *Land subsidence* di pesisir Bandar Lampung yang sebesar 5 – 20 mm/tahun menyebabkan beberapa kawasan dataran rendah dekat laut mengalami banjir rob dengan frekuensi yang lebih sering terjadi.

B. Saran

1. Untuk penelitian serupa sebaiknya dilakukan pengukuran GPS dan sipat datar (*levelling*) secara berkala di lokasi yang dianggap memiliki kecepatan deformasi (*subsidence rate*) tinggi agar lebih meningkatkan reabilitas data.
2. Agar justifikasi faktor-faktor penyebab penurunan muka tanah lebih objektif, sebaiknya digunakan juga data tentang penurunan muka air tanah dan data tutupan lahan yang lebih detail.
3. Membuat patok pemantau penurunan muka tanah (*land subsidence*) di beberapa titik yang memiliki kecepatan *land subsidence* yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M., S., Dheeraj K., Vivek S., dan Sumit K., C., 2018, Land Surface Deformation Parameter Estimation Using Persistent Scatterer Interferometry Approach In An Underground Metal Mining Environment, *The Imaging Science Journal*.
- Bai, L., Jiang, L., Wang, H., dan Sun, Q., 2016, Spatiotemporal characterization of land subsidence and uplift (2009–2010) over wuhan in central china revealed by terrasar-X insar analysis. *Remote Sensing*, 8(4), 350.
- BAPPEDA, 2016, RPJMD Kota Bandar Lampung Tahun 2016-2021.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Provinsi Lampung, 2015, *Jumlah Kecamatan dan Desa/Kelurahan Provinsi Lampung Menurut Kabupaten/Kota, 2013-2015*.
- Campbell, J., B., dan Wynne, R., H., 2011, *Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition*, The Guilford Press. ISBN: 160918176X, 9781609181765.
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., dan Sang-Hong, 2013, *Sinking Cities in Indonesia: ALOS PALSAR Detects Rapid Subsidence Due to Groundwater and Gas Extraction*, Elsevier Remote Sensing of Environment: 128 (2013) 150–161.
- ESA, 2018, Sentinel-1 Mission, Diakses dari <https://scihub.copernicus.eu/> [Diakses Pada Tanggal 26 Juli 2018]
- Ferretti, A., Prati, C., dan Rocca, F., 1999, Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *International Geoscience and Remote Sensing, Hamburg*, 1528-1530.
- Ferretti, A., Prati C., dan Rocca F., 2001, Permanent Scatterers in SAR Interferometry, *IEEE Trans. on Geosci. and Rem. Sens.* 39 1 8-20
- Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca, F., 2007, *InSAR Principles: Guidelinnes for SAR Interferometry and Intrpretation*, The Neatherland: ESA Publication.

- Galloway, D., Jones, D. R., dan Ingebritsen, S., E., 1999, *Land Subsidence in The United States*, US Geological Survey, New York, 1182, 1-15.
- Goel, K., 2013, *Advanced Stacking Techniques and Applications in High Resolution SAR Interferometry*, München: Technische Universität München.
- Gonnuru, P., dan Kumar, S., 2018, PsInSAR based land subsidence estimation of Burgan oil field using TerraSAR-X data, *Remote Sensing Applications Society and Environment* 9 (2018) 17–25.
- Islam LJF, Prasetyo Y, dan Sudarsono B., 2017, Analisis Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode Dinsar Pada Perangkat Lunak SNAP, *Jurnal Geodesi Undip*. 6(2): 29-36.
- JAXA, 2016, *PALSAR Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*, URL: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/palsar.html>.
- Julzarika, A., Kustiyo, dan Harsanugraha, W. K., 2008, *Teknik Penurunan Digital Surface Model (DSM) dari Citra Satelit ALOS (Studi Kasus : Cilacap, Indonesia)*, MAPIN.
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwarti, T., Gafoer, S., dan Sidarto, 1993, *Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Mirelva, P., R., 2015, *Synthetic Aperture Radar – Sebuah Catatan Kecil*.
- Prasetyo, Y., dan Subiyanto, S., 2014, *Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Menggunakan Metode Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (Ps-Insar) di Kawasan Kota Cimahi - Jawa Barat*. *Teknik*: 35 (2), 2014, 78-85.
- Razi, P., Josaphat, T. S. S., Daniele P., Hiroaki K., Ming Y., C., dan Good F., P., 2018, 3D Land Mapping and Land Deformation Monitoring Using Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ALOS PALSAR Validated by Geodetic GPS and UAV, *IEEE Access*.
- Rustadi dan Handayani, G., 2011, *Delineasi Patahan di Bandar Lampung Hasil Pencitraan Medan Gravitasi*, Prosiding 2011.
- Saputra, D., 2015, *Studi Air Tanah Berbasis Geographics Information System (GIS) Di Kota Bandar Lampung*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Sarkowi, M., 2008, *Gradien Vertikal Gayabarat Mikro Antar Waktu dan Hubungannya dengan Dinamika Airtanah*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, 49-56 (2008), Universitas Lampung, Lampung.

Sarmap, 2014, *PS Tutorial*, URL: http://www.sarmap.ch/pdf/PS_Tutorial_V_0_9.pdf.

Setyadi, B., 2016, *Analisis Penurunan Muka Tanah Dengan Small Baseline Subset Differential SAR Interferograms Di Kota Bandar Lampung*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.

Sugiyono, 2011, *Metode Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*, Alfabeta, Bandung.

Sutanto, 1994, *Penginderaan Jauh Jilid 1*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Syafriadi, Zaenuddin, A., Kusumastuti, D., A., dan Suharno, 2014, *Penggunaan Metode Geolistrik Untuk Pemodelan Distribusi Intrusi Air Laut di Daerah Pesisir Kota Bandar Lampung*, Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika: Vol. 02, No. 01, Januari 2014.

Utoyo, B., 2012, *Dinamika Penggunaan Lahan di Wilayah Perkotaan (Studi di Kota Bandar Lampung)*, FISIP UNILA: Seminar Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat.

Verhoef, P., N., W., 1994, *Geologi Untuk Teknik Sipil*, Erlangga, Jakarta.

Wahyuni, E., 2006, *Analisis Keterkaitan Permasalahan Tata Ruang Dengan Kinerja Perkembangan Wilayah (Studi Kasus Kota Bandar Lampung)*, Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.

Widjajanti, N., dan Sutana, H., 2006, *Model Permukaan Digital*, Yogyakarta : Universitas Gajah Mada.

Zaenudin, A., Armijon, dan Suharno, 2018, *Pemetaan dan Analisis Penurunan Tanah (Land Subsidence) di Bandar Lampung*, Penelitian Strategis Nasional Institusi (PSNI), LPPM Unila, Bandar Lampung.

Zalite, K., dan Voormansik, K., 2016, *Differential and Persistent Scatterer SAR Interferometry*. Tartu Observatory, Space Research Center.

Zhou, L., Guo, J., Hu, J., Li, J., Xu, Y., Pan, Y., dan Shi, M., 2017, *Wuhan Surface Subsidence Analysis in 2015–2016 Based on Sentinel-1A Data by SBAS-InSAR*, *Remote Sensing*, 9(10), 982.

Zuidam, R., A., V., 1985, *Aerial Photo-Interpretation Terrain Analysis and Geomorphology Mapping*, ITC: Smith Publisher The Hague.