

DAFTAR ISI

JUDUL BAHASA INDONESIA	i
JUDUL BAHASA INGGRIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
INTISARI	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Pertanyaan Penelitian	3
I.5 Cakupan Penelitian	3
I.6 Manfaat Penelitian	4
I.7 Tinjauan Pustaka	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
II.1 Penurunan Muka Tanah Kota Semarang	6
II.2 Konsep <i>Synthetic Aperture Radar</i>	12
II.2.1 <i>Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)</i>	12
II.2.2 Konsep <i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i> pada Citra Sentinel-1	13
II.2.3 <i>Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR)</i>	23
II.2.4 <i>Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS)</i>	24
II.3 Efek Troposfer pada SAR	29
II.4 Algoritma Koreksi Troposfer pada SAR	30
II.4.1 <i>Phase-base Correction</i>	30
II.4.2 <i>Weather Model Correction</i>	30
II.4.3 <i>Spectrometer Correction</i>	32

II.5	Konsep Referensi Titik Ikat pada PS-InSAR	33
BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN		35
III.1	Bahan dan Alat Penelitian	35
III.1.1	Bahan Penelitian	35
III.1.2	Alat Penelitian	36
III.2	Pelaksanaan Penelitian	37
III.2.1	Mosaik	38
III.2.2	Pengolahan <i>InSAR</i> Menggunakan SNAP	39
III.2.3	Pengolahan PS-InSAR menggunakan StaMPS	45
III.2.4	Proses Estimasi Nilai Kesalahan Troposfer SAR	51
III.2.5	Perhitungan <i>Mean Line of Sight Velocity</i>	58
III.2.6	Perbandingan PS-InSAR Sebelum dan Sesudah Koreksi pada Objek Tetap	59
III.2.7	Perhitungan <i>Mean LOS Velocity</i> Sesudah Direferensikan pada Objek Tetap	60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		62
IV.1	Hasil Pengolahan InSAR	62
IV.1.1	Hasil <i>Split</i>	62
IV.1.2	Hasil <i>Apply Orbit</i>	63
IV.1.3	Hasil <i>Master Selection</i>	65
IV.1.4	Hasil <i>Coregistration</i>	67
IV.1.5	Hasil <i>Deburst</i>	68
IV.1.6	Hasil <i>Subset</i>	68
IV.1.7	Hasil <i>Interferogram Formation</i>	69
IV.1.8	Hasil <i>Topographic Phase Removal</i>	72
IV.1.9	Hasil <i>StaMPS Export</i>	73
IV.2	Hasil Pengolahan PS-InSAR	74
IV.2.1	Hasil Konversi Data ke Format Matlab	74
IV.2.2	Hasil Estimasi <i>Phase Noise</i>	75
IV.2.3	Hasil <i>PS Selection</i>	77
IV.2.4	Hasil <i>PS Weeding</i>	78
IV.2.5	Hasil <i>Phase Correction</i>	79
IV.2.6	Hasil <i>Phase Unwrapping</i>	80
IV.2.7	Hasil <i>Estimate Spatially-Correlated Look Angle Error</i>	80
IV.3	Hasil Estimasi Nilai Kesalahan Troposfer SAR	81
IV.3.1	<i>Phase-Based Correction</i>	81
IV.3.2	<i>Spectrometer Correction</i>	82

IV.3.3	<i>Weather Model Correction</i>	84
IV.4	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i>	93
IV.4.1	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i> PS-InSAR	93
IV.4.2	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i> PS-InSAR Terkoreksi Troposfer	94
IV.5	Perbandingan PS-InSAR Sebelum dan Sesudah Koreksi Troposfer pada Objek Tetap	97
IV.6	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i> PS-InSAR Sesudah Direferensikan pada Objek Tetap	99
IV.6.1	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i> PS-InSAR	99
IV.6.2	Hasil <i>Mean LOS Velocity</i> PS-InSAR Terkoreksi Troposfer	99
IV.7	Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Sebelum dan Sesudah Koreksi Troposfer	103
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		105
V.1	Kesimpulan	105
V.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA		107
LAMPIRAN		112

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Wilayah penelitian	6
Gambar II.2 Identifikas penyebab penurunan muka tanah Kota Semarang	7
Gambar II.3 Peta struktur geologi Kota Semarang dan sekitarnya	7
Gambar II.4 Penurunan muka tanah pada sumur pantau tahun 1952 s.d. 2000	9
Gambar II.5 Peningkatan jumlah sumur bor dan pengambilan air tanah Kota Semarang	10
Gambar II.6 Dampak penurunan muka tanah di Kota Semarang	12
Gambar II.7 Penggunaan dan posisi antena pada SAR	13
Gambar II.8 Satelit Sentinel-1A	14
Gambar II.9 Prinsip akuisisi TOPSAR	15
Gambar II.10 <i>Subswaths</i> pada citra Sentinel-1	16
Gambar II.11 <i>Burst</i> pada citra Sentinel-1	16
Gambar II.12 Estimasi kesalahan <i>restituted orbit</i> dan <i>precise orbit</i>	17
Gambar II.13 Konsep <i>coregistration</i>	18
Gambar II.14 Proses <i>alignment</i> citra <i>master</i> dan <i>slave</i>	19
Gambar II.15 Proses <i>interferogram formation</i>	20
Gambar II.16 Hasil <i>interferogram formation</i>	21
Gambar II.17 Koherensi <i>master</i> dan <i>slave</i>	22
Gambar II.18 Fase topografi	22
Gambar II.19 Hasil setelah proses <i>topographic phase removal</i>	23
Gambar II.20 Prinsip 3D <i>unwrapping</i>	28
Gambar II.21 Efek troposfer pada SAR	29
Gambar III.1 Diagram alir penelitian	37
Gambar III.2 Data DEM Nasional yang digabungkan	38
Gambar III.3 Visualisasi proses <i>split</i>	39
Gambar III.4 Visualisasi penyamaan <i>subswath</i> dan <i>burst</i>	39
Gambar III.5 Visualisasi proses <i>apply orbit</i>	40
Gambar III.6 Informasi orbit pada <i>metadata</i>	40
Gambar III.7 Pemilihan <i>master</i> dan <i>slave</i>	41

Gambar III.8 Visualisasi urutan citra dalam proses <i>coregistration</i>	41
Gambar III.9 Visualisasi parameter <i>coregistration</i>	42
Gambar III.10 Visualisasi parameter <i>deburst</i> dan <i>gap</i> antar <i>burst</i>	42
Gambar III.11 Visualisasi parameter <i>subset</i>	43
Gambar III.12 Visualisasi parameter <i>interferogram formation</i>	44
Gambar III.13 Visualisasi parameter <i>topographic phase removal</i>	44
Gambar III.14 Visualisasi proses <i>StaMPS export</i>	45
Gambar III.15 Parameter integrasi pada <i>StaMPS_Config</i>	45
Gambar III.16 Pengaturan <i>APS_Config.sh</i>	51
Gambar III.17 Data <i>water vapour near-infrared</i> citra MODIS	53
Gambar III.18 Perhitungan <i>wet delays</i>	54
Gambar III.19 Pengubahan <i>wet delays</i> ke <i>InSAR tropospheric delays</i>	54
Gambar III.20 Pengajuan data GACOS	56
Gambar III.21 Konversi data DEM ke <i>format GMT</i>	57
Gambar III.22 Ortofoto kampus Universitas Diponegoro dan sekitarnya	60
Gambar III.23 Penyajian hasil penurunan muka tanah Kota Semarang	61
Gambar IV.1 Perbedaan Nilai koordinat X sebelum dan sesudah <i>apply orbit</i>	64
Gambar IV.2 Perbedaan Nilai koordinat Y sebelum dan sesudah <i>apply orbit</i>	64
Gambar IV.3 perbedaan nilai koordinat Z sebelum dan sesudah <i>apply orbit</i>	65
Gambar IV.4 Hasil <i>coregistration</i>	67
Gambar IV.5 Hasil sebelum dan sesudah <i>deburst</i>	68
Gambar IV.6 Visualisasi sebelum dan sesudah proses <i>subset</i>	69
Gambar IV.7 Beda fase <i>interferometric</i>	69
Gambar IV.8 Koherensi	70
Gambar IV.9 Perbandingan koherensi tinggi dan rendah pada fase	71
Gambar IV.10 Beda fase, fase topografi dan beda fase tanpa fase topografi	72
Gambar IV.11 Informasi elevasi	73
Gambar IV.12 Informasi lintang dan bujur pada <i>scatter plot</i>	73
Gambar IV.13 Hasil <i>StaMPS export</i>	73
Gambar IV.14 Pembagian <i>patch</i>	74
Gambar IV.15 Nilai Bobot sebelum dan sesudah proses iterasi <i>patch 1</i>	76
Gambar IV.16 Perbandingan nilai koherensi <i>patch 1</i>	76

Gambar IV.17 Kondisi <i>patch</i> setelah proses PS <i>weeding</i>	78
Gambar IV.18 Fase <i>wrapped</i>	79
Gambar IV.19 Fase <i>unwrapping</i>	80
Gambar IV.20 Nilai kesalahan DEM	81
Gambar IV.21 Fase troposfer <i>phase-based correction</i> dengan <i>linear correction</i>	82
Gambar IV.22 Nilai pengaruh troposfer <i>linear correction</i>	82
Gambar IV.23 Fase troposfer <i>spectrometer correction</i> dengan MODIS	83
Gambar IV.24 Nilai pengaruh troposfer MODIS	84
Gambar IV.25 Fase komponen basah (<i>wet</i>) ERA-Interim	85
Gambar IV.26 Fase komponen hidrostatis ERA-Interim	85
Gambar IV.27 Fase Komponen basah (<i>wet</i>) dan hidrostatis ERA-Interim	86
Gambar IV.28 Nilai komponen basah ERA-Interim	86
Gambar IV.29 Nilai komponen hidrostatis ERA-Interim	87
Gambar IV.30 Nilai komponen basah dan hidrostatis ERA-Interim	87
Gambar IV.31 Fase komponen basah (<i>wet</i>) MERRA2	88
Gambar IV.32 Fase komponen hidrostatis MERRA2	89
Gambar IV.33 Fase komponen basah (<i>wet</i>) dan hidrostatis MERRA2	89
Gambar IV.34 Nilai komponen basah MERRA-2	90
Gambar IV.35 Nilai komponen hidrostatis MERRA-2	90
Gambar IV.36 Nilai komponen basah dan hidrostatis MERRA-2	91
Gambar IV.37 Fase troposfer <i>weather model correction</i> dengan GACOS	92
Gambar IV.38 Nilai troposfer GACOS	92
Gambar IV.39 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR	93
Gambar IV.40 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan <i>linear correction</i>	94
Gambar IV.41 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan MODIS	95
Gambar IV.42 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan ERA-Interim	95
Gambar IV.43 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan MERRA-2	96
Gambar IV.44 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan GACOS	96
Gambar IV.45 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR yang tereferensi objek tetap	99
Gambar IV.46 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan <i>linear correction</i> yang tereferensi objek tetap	100

Gambar IV.47 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan MODIS tereferensi objek tetap	101
Gambar IV.48 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan ERA-Interim tereferensi objek tetap	101
Gambar IV.49 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan MERRA-2 tereferensi objek tetap	102
Gambar IV.50 <i>Mean LOS velocity</i> PS-InSAR dengan GACOS tereferensi objek tetap	103

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Jumlah penduduk Kota Semarang tahun 2005 s.d. 2017	10
Tabel II.2 Hubungan penurunan muka tanah Kota Semarang berdasarkan aspek penyebabnya tahun 2013 s.d. 2018	11
Tabel II.3 Resolusi spasial Sentinel-1A	14
Tabel II.4 Produk dan karakteristik citra Sentinel-1A	14
Tabel III.1 Parameter proses <i>estimate phase noise</i>	47
Tabel III.2 Parameter proses <i>PS selection</i>	48
Tabel III.3 Parameter proses <i>PS weeding</i>	49
Tabel III.4 Parameter proses <i>Phase Correction</i>	50
Tabel III.5 Parameter proses <i>unwrapping</i>	50
Tabel III.6 Parameter proses <i>estimate spatially-correlated look angle error</i>	51
Tabel III.7 Parameter proses <i>phase-based correction</i>	52
Tabel III.8 Parameter proses <i>spectrometer correction</i>	52
Tabel III.9 Parameter proses <i>weather model correction</i>	55
Tabel III.10 Parameter titik referensi PS-InSAR	61
Tabel IV.1 Informasi <i>burst</i>	62
Tabel IV.2 Hasil sebelum dan sesudah <i>apply orbit</i>	63
Tabel IV.3 Informasi <i>master selection</i>	66
Tabel IV.4 Nilai koherensi <i>master</i> dan <i>slave</i>	70
Tabel IV.5 Jumlah PS <i>candidate</i> pada proses inisiasi awal	75
Tabel IV.6 Jumlah titik PS sebelum dan sesudah <i>PS selection</i>	77
Tabel IV.7 Jumlah titik PS sebelum dan sesudah <i>PS weeding</i>	79
Tabel IV.8 Rerata pergeseran LOS PS-InSAR pada objek tetap	97
Tabel IV.9 Selisih laju pergeseran LOS PS-InSAR sebelum dan sesudah koreksi troposfer pada objek tetap	98
Tabel IV.10 Informasi koordinat dan radius dari bangunan referensi	98
Tabel IV.11 Nilai laju pergeseran di Kota Semarang berdasarkan metode PS-InSAR	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Digitasi Bangunan dan Informasi Bangunan	113
Lampiran 2 Hasil PS-InSAR Sebelum dan Sesudah Koreksi di Wilayah Kota Semarang	114