

DAFTAR ISI

JUDUL DISERTASI (BAHASA INDONESIA)	i
JUDUL DISERTASI (BAHASA INGGRIS)	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xxiii
DAFTAR ARTI LAMBANG	xxiii
DAFTAR SINGKATAN	xxvi
INTISARI	xxix
ABSTRACT	xxx
 BAB I. PENDAHULUAN	 1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan dan Batasan Masalah	6
I.3. Keaslian Penelitian	8
I.4. Tujuan Penelitian	8
I.5. Manfaat Penelitian	8
I.6. Konseptual Penelitian	9
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	 12
II.1. Tinjauan Pustaka	12
II.1.1. DEM, DSM, dan DTM	12
II.1.2. <i>Displacement</i>	24
II.1.3. Perbedaan disertasi pembaharuan DTM dengan penelitian terdahulu	28
II.2. Landasan Teori	29
II.2.1. ALOS PALSAR/PALSAR-2 dan Sentinel-1	29
II.2.1.1. Citra SAR	29
II.2.1.2. ALOS PALSAR/PALSAR-2	30
II.2.1.3. Sentinel-1	31
II.2.2. Ekstraksi pembaharuan DTM	33
II.2.2.1. <i>Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)</i>	33

II.2.2.2. <i>Differential Interferometry SAR (D-InSAR)</i>	41
II.2.3. DEM	42
II.2.4. Kesalahan Tinggi	44
II.2.5. Model Matematika Permukaan.....	45
II.2.6. Bidang Referensi Tinggi Geoid	54
II.2.7. Deformasi	56
II.2.8. Konversi DSM ke DTM	58
II.2.9. Pembaharuan DTM.....	65
II.2.10. Uji Akurasi Vertikal	65
II.3. Pertanyaan Penelitian	72
II.4. Hipotesis.....	72
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	74
III.1. Lokasi Penelitian	74
III.1.1. Sesar Semangko	75
III.1.2. Pulau Rote	77
III.1.3. Merauke.....	79
III.1.4. Lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau.....	80
III.2. Pelaksanaan Penelitian	81
III.2.1. Persiapan	81
III.2.2. Metode Penelitian.....	88
III.2.2.1. Ekstraksi DSM dengan InSAR.....	95
III.2.2.2. Konversi DSM menjadi DTM master	108
III.2.2.3. Ekstraksi DTM master, <i>displacement</i> vertikal terkini, dan pembaharuan DTM	109
 BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	111
IV.1. Ekstraksi DTM master dengan InSAR.....	111
IV.2. Evaluasi Akurasi Vertikal DTM master.....	114
IV.2.1. Sesar Semangko	114
IV.2.2. Pulau Rote	115
IV.2.3. Merauke	117
IV.2.4. Lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	118
IV.2.5. Uji beda tinggi DTM master	119
IV.3. Ekstraksi <i>displacement</i> vertikal dengan D-InSAR.....	120
IV.4. Ekstraksi Pembaharuan DTM	126

IV.4.1. Sesar Semangko	126
IV.4.2. Pulau Rote	127
IV.4.3. Merauke	129
IV.4.4. Lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	130
IV.4.5. Evaluasi akurasi vertikal pembaharuan DTM terhadap ASPRS 2014	132
IV.4 Perbandingan pembaharuan DTM di berbagai kondisi area dan hasil pengujian terhadap hipotesis penelitian	138
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	146
V.1. Kesimpulan.....	146
V.2. Saran.....	149
DAFTAR PUSTAKA	151

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1.	Perbandingan akurasi vertikal berbagai jenis DSM statis global dari beberapa sumber penelitian	18
Tabel II. 2.	Perbandingan satelit ALOS PALSAR dan ALOS PALSAR-2 (ALOS-2)	31
Tabel II. 3.	Resolusi spasial mode pengukuran Sentinel-1	32
Tabel II. 4.	Level produk Sentinel-1	32
Tabel II. 5.	Persamaan yang digunakan dalam koreksi kesalahan tinggi.....	45
Tabel II. 6.	Model matematika permukaan tren	47
Tabel II. 7.	Akurasi vertikal untuk data elevasi digital	67
Tabel II. 8.	Standar akurasi vertikal untuk data elevasi digital	68
Tabel II. 9.	Rekomendasi jumlah titik uji berdasarkan area proyek	70
Tabel III. 1.	Data citra satelit area Sesar Semangko	83
Tabel III. 2.	Data citra satelit Pulau Rote	84
Tabel III. 3.	Data citra satelit yang digunakan untuk area Merauke.....	85
Tabel III. 4.	Data citra satelit wilayah lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	86
Tabel IV. 1.	Hasil evaluasi akurasi vertikal DTM master area Sesar Semangko.....	115
Tabel IV. 2.	Hasil evaluasi akurasi vertikal DTM master Pulau Rote dataran rendah.....	116
Tabel IV. 3.	Hasil evaluasi akurasi vertikal DTM master Pulau Rote dataran sedang	117
Tabel IV. 4.	Hasil evaluasi akurasi vertikal DTM master area Merauke	118
Tabel IV. 5.	Hasil evaluasi akurasi vertikal DTM master lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	119
Tabel IV. 6.	Hasil uji beda tinggi DTM master	120
Tabel IV. 7.	Evaluasi akurasi vertikal pembaharuan DTM terhadap ASPRS 2014.....	133
Tabel IV. 8.	Uji beda tinggi di Sesar Semangko, Pulau Rote dataran rendah, dan Merauke	136
Tabel IV. 9.	Uji beda tinggi untuk Pulau Rote dataran sedang dan lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	137
Tabel IV. 10.	Perbandingan penerapan DTM yang diperbaharui di empat kondisi area topografi berbeda	138
Tabel IV. 11.	Pengujian satu arah hipotesis DTM yang diperbaharui dengan dengan tingkat kepercayaan 95%	142
Tabel A. 1.	Publikasi Ilmiah Disertasi.....	165
Tabel C. 1.	Pemantauan <i>displacement</i> dengan D-InSAR di Area Merauke periode Januari 2019 s.d. Juni 2020	184
Tabel D. 1.	Pembaharuan DTM di area Sesar Semangko	189
Tabel D. 2.	Pembaharuan DTM di Pulau Rote bagian utara	190
Tabel D. 3.	Pembaharuan DTM di area Merauke.....	191

Tabel D. 4.	Pembaharuan DTM di area Palangkaraya-Pulang Pisau	193
Tabel E. 1.	Perbandingan perbedaan tinggi antara DTM yang diperbaharui dengan pengukuran lapangan	196
Tabel E. 2.	Perbandingan DTM dengan berbagai bidang referensi tinggi di dataran rendah ...	199
Tabel E. 3.	Perbandingan DTM dengan berbagai bidang referensi tinggi di dataran sedang...	200
Tabel E. 4.	Perbandingan nilai tinggi pada DTM dengan data lapangan	203
Tabel E. 5.	Perbandingan nilai tinggi hasil ekstraksi DEM Pleiades, DTM yang diperbaharui, dan pengukuran lapangan	205

Gambar I. 1.	Konseptual penelitian yang menunjukkan kebaruan disertasi pembaharuan DTM	11
Gambar II. 1.	Perbedaan band pada citra SAR mempengaruhi akurasi vertikal pada DTM	13
Gambar II. 2.	Proses perekaman pada citra Sentinel-1 dengan cara <i>along-track interferometer</i>	24
Gambar II. 3.	Fungsi Sinusoidal pada gelombang elektromagnetik satelit SAR	34
Gambar II. 4.	(a) Ilustrasi waktu perekaman citra master dan <i>slave</i> ; (b). ilustrasi beda fase akibat pergerakan permukaan tanah	35
Gambar II. 5.	Tipe metode <i>sampling</i> . (a) <i>Random Sampling</i> ; (b) <i>systematic sampling (grid-based)</i> ; (c) <i>Sampling</i> dengan 1D tetap; (d) <i>Sampling</i> dengan 2D tetap; (e) ROAM	50
Gambar II. 6.	Filter dalam konversi DSM menjadi DTM dengan metode <i>slope-based filtering</i>	59
Gambar II. 7.	Konversi DSM dengan mempertimbangkan nilai kemiringan, filter Kernel: <i>maximum allowed height difference</i>	61
Gambar II. 8.	Radius dalam konversi DSM ke DTM	62
Gambar II. 9.	Konversi DSM ke DTM dan konsep sistem tinggi	63
Gambar II. 10.	Perbandingan metode konversi DSM ke DTM. (a). Berdasarkan elevasi minimum; (b). Berdasarkan elevasi maksimum; (c). Berdasarkan elevasi standar deviasi	64
Gambar II. 11.	Perbandingan jenis data dalam pembuatan DEM terhadap akurasi vertikal dan penggunaannya dalam berbagai skala peta	67
Gambar II. 12.	Contoh uji beda tinggi DTM dengan pembuatan poligon tertutup	71
Gambar III. 1.	Sesar Semangko dan segmen Sianok-Sumani	76
Gambar III. 2.	Lokasi penelitian di Kawasan Laut Mati Rote yang berada di Pulau Rote bagian utara dan mengalami deformasi tinggi.	78
Gambar III. 3.	Area Merauke dengan kondisi deformasi rendah.....	79
Gambar III. 4.	Palangkaraya-Pulang Pisau, salah satu lahan gambut dengan dinamika tinggi.	80
Gambar III. 5.	Tahapan pembaharuan DTM	88
Gambar III. 6.	Diagram alir penelitian pembaharuan DTM	90
Gambar III. 7.	Diagram alir InSAR	94
Gambar III. 8.	Interferogram ALOS PALSAR di Sesar Semangko (kiri) dan Pulau Rote (kanan)	96

Gambar III. 9.	(a) Interferogram Merauke; (b) Interferogram Palangkaraya-Pulang Pisau (area utara); (c) Interferogram Palangkaraya-Pulang Pisau (area selatan)	97
Gambar III. 10.	(a). Profil vertikal; (b). Profil horizontal; (c). Profil <i>arbitrary</i>	98
Gambar III. 11.	<i>Phase unwrapping Dint</i> area Sesar Semangko (kiri) dan Pulau Rote (kanan)	100
Gambar III. 12.	<i>Phase unwrapping Fint</i> area Sesar Semangko (kiri) dan Pulau Rote (kanan)	101
Gambar III. 13.	<i>Phase unwrapping Upa</i> area Sesar Semangko (kiri) dan Pulau Rote (kanan)	102
Gambar III. 14.	Interferogram (a) <i>Dint</i> ; (b) <i>Fint</i> ; (c) <i>Upa</i> area Merauke. Nilai pada wilayah laut diabaikan, yang digunakan hanya wilayah daratan	103
Gambar III. 15.	Interferogram <i>Dint</i> area Palangkaraya-Pulang Pisau. (a) Area bagian utara dan (b) Area bagian selatan	103
Gambar III. 16.	Interferogram <i>Fint</i> area Palangkaraya-Pulang Pisau. (a) Area bagian utara dan (b) Area bagian selatan	104
Gambar III. 17.	Interferogram <i>Upa</i> area Palangkaraya-Pulang Pisau. (a) Wilayah bagian utara dan (b) Wilayah bagian selatan.....	104
Gambar III. 18.	<i>Refinement</i> dan <i>re-flattening</i> : (a) Area Sesar Semangko; (b) Pulau Rote...	105
Gambar III. 19.	Contoh sebaran titik kontrol berdasarkan koherensi citra master dan citra <i>slave</i> di area Sesar Semangko	105
Gambar III. 20.	Hasil ekstraksi DSM dengan InSAR untuk area Sesar Semangko dan Pulau Rote (kanan)	106
Gambar III. 21.	Hasil ekstraksi DSM dengan InSAR untuk area Merauke	107
Gambar III. 22.	Hasil ekstraksi DSM dengan InSAR untuk area Palangkaraya-Pulang Pisau. (a) Wilayah utara; (b) Wilayah selatan; (c) Wilayah gabungan utara-selatan	107
Gambar III. 23.	Contoh tinggi vegetasi yang diperoleh dalam konversi DSM.....	109
Gambar IV. 1.	DTM master di area Sesar Semangko. Garis merah merupakan garis Sesar Semangko	112
Gambar IV. 2.	DTM master di area Pulau Rote bagian utara. (a) Wilayah laut diberi nilai kedalaman 0 m atau kurang. (b) Wilayah laut diberi nilai kedalaman <i>null</i> .	113
Gambar IV. 3.	DTM master area Merauke	113
Gambar IV. 4.	DTM master wilayah Palangkaraya-Pulang Pisau	114
Gambar IV. 5.	<i>Displacement</i> vertikal dari Sentinel-1 di Sesar Semangko.....	121
Gambar IV. 6.	<i>Displacement</i> vertikal pada Pulau Rote.....	122
Gambar IV. 7.	Pembuatan profil melintang di Pulau Rote.....	123

Gambar IV. 8.	<i>Displacement</i> vertikal area Merauke	123
Gambar IV. 9.	Profil melintang pada <i>displacement</i> vertikal area Merauke	124
Gambar IV. 10.	Ekstraksi <i>displacement</i> vertikal di lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	124
Gambar IV. 11.	Profil memanjang <i>displacement</i> vertikal di lahan Gambut Pangkaraya-Pulang Pisau.....	125
Gambar IV. 12.	Profil melintang <i>displacement</i> vertikal di lahan Gambut Pangkaraya-Pulang Pisau.....	125
Gambar IV. 13.	DTM yang diperbaharui dan garis Sesar Semangko (warna kuning).....	126
Gambar IV. 14.	Profil memanjang di Sesar Semangko.....	127
Gambar IV. 15.	Profil melintang pada area dataran sedang di sekitar Danau Oemasapoka. (a) Memotong perbukitan, (b) Pengujian di puncak bukit	128
Gambar IV. 16.	Profil melintang di Pulau Rote. (a) Dataran rendah di selatan Danau Oemasapoka dan (b) Danau Bisaina, dataran rendah dan dataran sedang di area timur Pulau Rote	129
Gambar IV. 17.	DTM yang diperbaharui di area Merauke. (a) Profil melintang pada daratan yang dilewati sungai besar dan (b) profil memanjang dari pantai ke arah daratan	130
Gambar IV. 18.	(a). DTM yang diperbaharui di lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau dan (b). Profil melintang di lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	131
Gambar IV. 19.	Profil memanjang di dataran rendah di lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau.....	131
Gambar B. 1.	Koherensi VV pada bulan Januari 2019 di Sesar Semangko	166
Gambar B. 2.	Koherensi VV bulan Januari 2020 di Sesar Semangko.....	167
Gambar B. 3.	Koherensi VV bulan Juni 2020 di Sesar Semangko	167
Gambar B. 4.	Fase VV bulan Januari 2019	168
Gambar B. 5.	Fase VV bulan Januari 2020	168
Gambar B. 6.	Fase VV bulan Juni 2020 di Sesar Semangko	169
Gambar B. 7.	Koherensi VV pada bulan Januari 2019.....	169
Gambar B. 8.	Koherensi VV pada bulan Januari 2020.....	170
Gambar B. 9.	Koherensi VV pada bulan Juni 2020	170
Gambar B. 10.	Fase VV pada bulan Januari 2019.....	170
Gambar B. 11.	Fase VV pada bulan Januari 2020.....	171
Gambar B. 12.	Fase VV pada bulan Juni 2020	171
Gambar B. 13.	Koherensi VV pada bulan Januari 2019.....	172
Gambar B. 14.	Koherensi VV pada bulan Januari 2020.....	172

Gambar B. 15.	Koherensi VV pada bulan Juni 2021	173
Gambar B. 16.	Fase VV pada bulan Januari 2019.....	173
Gambar B. 17.	Fase VV pada bulan Januari 2020.....	174
Gambar B. 18.	Fase VV pada bulan Juni 2020	174
Gambar B. 19.	Koherensi VV pada bulan Agustus 2018	175
Gambar B. 20.	Koherensi VV pada bulan Januari 2019.....	175
Gambar B. 21.	Koherensi VV pada bulan Juli 2019	176
Gambar B. 22.	Koherensi VV pada bulan Januari 2020.....	176
Gambar B. 23.	Koherensi VV pada bulan Juli 2019	177
Gambar B. 24.	Fase VV pada bulan Agustus 2018	177
Gambar B. 25.	Fase VV pada bulan Januari 2019.....	178
Gambar B. 26.	Fase VV pada bulan Juli 2019	178
Gambar B. 27.	Fase VV pada bulan Januari 2020.....	179
Gambar B. 28.	Fase VV pada bulan Juni 2020	179
Gambar C. 1.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2019	180
Gambar C. 2.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2020	181
Gambar C. 3.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Juni 2020	181
Gambar C. 4.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2019	182
Gambar C. 5.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2020	183
Gambar C. 6.	<i>Displacement</i> vertikal pada bulan Juni 2020	183
Gambar C. 7.	Histogram <i>subsidence</i> periode 2018 s.d. 2020.....	185
Gambar C. 8.	<i>Subsidence</i> dan <i>uplift</i> pada Juni 2020	186
Gambar C. 9.	<i>Subsidence</i> dan <i>uplift</i> pada Januari 2020	186
Gambar C. 10.	<i>Subsidence</i> dan <i>uplift</i> pada Juli 2019	187
Gambar C. 11.	<i>Subsidence</i> dan <i>uplift</i> pada Januari 2019	187
Gambar C. 12.	<i>Uplift</i> pada Agustus 2018	188
Gambar C. 13.	Perbandingan <i>subsidence</i> di lahan gambut selama periode Januari 2018 s.d. Juni 2020.....	188
Gambar E. 1.	Lokasi 26 titik uji di sekitar Sesar Semangko, utara Danau Singkarak	195
Gambar E. 2.	(a). DTM yang diperbaharui di Sesar Semangko dan (b). Perubahan di Sesar Semangko, menggunakan profil memanjang (sebelah utara danau Singkarak)	197
Gambar E. 3.	Lokasi 26 titik uji di dataran rendah	198
Gambar E. 4.	Area pengujian perbedaan tinggi DTM di sebelah barat area laut mati Pulau Rote.....	200
Gambar E. 5.	Lokasi 26 titik uji pembaharuan DTM di area Merauke.....	202

Gambar E. 6.	(a). DEM Pleiades dan (b) DTM yang diperbaharui.....	204
Gambar E. 7.	Pengukuran lapangan dengan GNSS, titik pengukuran di lapangan dengan simbol titik merah.	205
Gambar E. 8.	Poligon profil tinggi DEM Pleiades dan DTM yang diperbaharui berdasarkan 15 titik pengukuran lapangan.....	206
Gambar E. 9.	Profil melintang sungai pada DTM yang diperbaharui.....	208
Gambar E. 10.	Profil memanjang rawa gambut pada DTM yang diperbaharui.....	209
Gambar E. 11.	Profil dataran rendah pada DTM yang diperbaharui.....	209
Gambar E. 12.	Profil dinamika lahan gambut sesuai dengan periode pada DTM yang diperbaharui	210
Gambar E. 13.	Aliran permukaan dinamis di Palangkaraya-Pulang Pisau	210

LAMPIRAN A. PUBLIKASI ILMIAH DISERTASI..... 165

LAMPIRAN B. KOHERENSI DAN FASE VV CITRA SENTINEL-1 166

B.1. Sesar Semangko.....	166
B.1.1. Koherensi VV pada bulan Januari 2019	166
B.1.2. Koherensi VV pada bulan Januari 2020	166
B.1.3. Koherensi VV pada bulan Juni 2020	167
B.1.4. Fase VV pada bulan Januari 2019	167
B.1.5. Fase VV pada bulan Januari 2020	168
B.1.6. Fase VV pada bulan Juni 2020	168
B.2. Area Pulau Rote.....	169
B.2.1. Koherensi VV pada bulan Januari 2019	169
B.2.2. Koherensi VV pada bulan Januari 2020	169
B.2.3. Koherensi VV pada bulan Juni 2020	170
B.2.5. Fase VV pada bulan Januari 2020	171
B.2.6. Fase VV pada bulan Juni 2020	171
B.3. Merauke	171
B.3.1. Koherensi VV pada bulan Januari 2019	172
B.3.2. Koherensi VV pada bulan Januari 2020	172
B.3.3. Koherensi pada bulan Juni 2020	172
B.3.4. Fase VV pada bulan Januari 2019	173
B.3.5. Fase VV pada bulan Januari 2020	173
B.4. Palangkaraya-Pulang Pisau.....	174
B.4.1. Koherensi VV pada bulan Agustus 2018.....	174
B.4.2. Koherensi VV pada bulan Januari 2019	175
B.4.3. Koherensi VV pada bulan Juli 2019	175
B.4.4. Koherensi VV pada bulan Januari 2020	176
B.4.5. Koherensi VV pada bulan Juni 2020	176
B.4.6. Fase VV pada bulan Agustus 2018.....	177
B.4.7. Fase VV pada bulan Januari 2019	177
B.4.9. Fase VV pada bulan Januari 2020	178
B.4.10. Fase VV pada bulan Juni 2020	179

LAMPIRAN C. D-InSAR CITRA SENTINEL-1	180
C.1. D-InSAR di area Sesar Semangko.....	180
C.1.1. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2019	180
C.1.2. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2020	181
C.1.3. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Juni 2020	181
C.2. D-InSAR di Pulau Rote bagian utara.....	182
C.2.1. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2019	182
C.2.2. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Januari 2020	182
C.2.3. <i>Displacement</i> vertikal pada bulan Juni 2020	183
C.3. D-InSAR di area Merauke	183
C.4. D-InSAR di area Palangkaraya-Pulang Pisau.....	184
 LAMPIRAN D. PEMBAHARUAN DTM.....	189
D.1. Pembaharuan DTM di area Sesar Semangko	189
D.2. Pembaharuan DTM di area Pulau Rote bagian utara	190
D.3. Pembaharuan DTM di area Merauke	191
D.4. Pembaharuan DTM di area Palangkaraya-Pulang Pisau	192
 LAMPIRAN E. EVALUASI AKURASI VERTIKAL PEMBAHARUAN DTM.....	195
E.1. Evaluasi kesalahan beda tinggi (RMSEz) pembaharuan DTM di Sesar Semangko	195
E.2. Evaluasi kesalahan beda tinggi (RMSEz) pembaharuan DTM di Pulau Rote.....	197
E.3. Evaluasi kesalahan beda tinggi (RMSEz) pembaharuan DTM di Merauke	202
E.4. Evaluasi kesalahan beda tinggi (RMSEz) pembaharuan DTM di lahan Gambut Palangkaraya-Pulang Pisau	203