UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN v
HALAMAN PERNYATAAN vi
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
INTISARI viii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR x
DAFTAR ISI xii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xviii
DAFTAR LAMPIRAN xix
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1. Latar Belakang 1
I.2. Identifikasi Masalah 3
I.3. Pertanyaan Penelitian 3
I.4. Cakupan Penelitian 3
I.5. Tujuan Penelitian 4
I.6. Manfaat Penelitian 4
I.7. Tinjauan Pustaka 4
I.8. Landasan Teori 7
I.8.1. Gambut 7
I.8.2. Akuifer 8
I.8.3. *Synthetic Aperture Radar* (SAR) 10
I.8.4. Sentinel-1A 13

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.8.5. *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR)..... 17
I.8.6. *Coherence-Based Small Baseline Subset InSAR* (SBAS-InSAR)..... 23
I.8.7. *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS) 24
I.8.8. Analisis Hasil 25
I.9. Hipotesis..... 26
BAB II PELAKSANAAN 27
II.1. Persiapan 27
II.1.1. Lokasi Penelitian..... 27
II.1.2. Persiapan Bahan..... 27
II.1.3 Persiapan Alat..... 28
II.2. Pelaksanaan..... 29
II.2.1. Persiapan dan Pengumpulan Data..... 30
II.2.2. Pemrosesan Variasi Nilai Deformasi Vertikal..... 35
II.2.3. Pemrosesan Model Hidrologi Global GLDAS 46
II.2.4. Pemrosesan Data Curah Hujan 48
II.2.5. Pemrosesan Data Tinggi Muka Air Lahan Gambut..... 48
II.2.6. Analisis Hasil Deformasi Vertikal 49
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN 50
III.1. Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal..... 50
III.1.1 Variasi Deformasi Vertikal 50
III.1.2 Nilai Deformasi dan Kecepatan Deformasi Vertikal pada Titik – Titik Sampel 56
III.1.3 Validasi Deformasi Vertikal InSAR..... 58
III.2. Validasi Hubungan Deformasi Vertikal dengan Perubahan Simpanan Air .. 60
III.2.1 Validasi Hubungan Deformasi Vertikal dengan Data Curah Hujan..... 60
III.2.2 Validasi Hubungan Deformasi Vertikal dengan Data GWS dari Model

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Hidrologi Global GLDAS 64

III.2.3 Validasi Hubungan Deformasi Vertikal dengan Data Tinggi Muka Air Lahan Gambut..... 67

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN..... 72

IV.1. Kesimpulan..... 72

IV.2. Saran..... 73

DAFTAR PUSTAKA..... 74

LAMPIRAN..... 78

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Persebaran lahan gambut di Indonesia 8

Gambar I.2 Ilustrasi *confined* dan *unconfined aquifer* 8

Gambar I.3 (a) Deformasi vertikal didominasi oleh pengaruh pembebanan massa air dengan nilai koefisien simpanan akuifer yang lebih besar (b) Deformasi vertikal didominasi oleh tekanan air pori dengan nilai koefisien simpanan akuifer yang lebih kecil 10

Gambar I.4 Ilustrasi geometri pencitraan SAR, modifikasi darI 11

Gambar I.5 Kedalaman penetrasi berdasarkan jenis band 12

Gambar I.6 Fungsi *sinusoidal* gelombang elektromagnetik satelit radar 12

Gambar I.7 Satelit Sentinel-1A 13

Gambar I.8 Ilustrasi mode akuisisi citra satelit Sentinel-1 15

Gambar I.9 Teknik akuisisi TOPSAR 16

Gambar I.10 Ilustrasi perekaman citra SAR pada metode InSAR 17

Gambar I.11 Ilustrasi proses *alignment* citra 19

Gambar I.12 Prinsip *phase unwrapping* 21

Gambar I.13 Ilustrasi hubungan antara deformasi LOS dengan deformasi vertikal . 22

Gambar II.1 Lokasi penelitian, segitiga biru menunjukan stasiun curah hujan, lingkaran kuning menunjukan stasiun Tinggi Muka Air, kotak merah menunjukkan area penelitian 27

Gambar II.2 Diagram alir pelaksanaan penelitian. 29

Gambar II.3 Tampilan laman registrasi akun *earth data* 30

Gambar II.4 Tampilan laman petunjuk penyusunan API *command* untuk proses pencarian dan pengunduhan data Sentinel-1A 31

Gambar II.5 Tampilan *script* untuk pencarian data Sentinel-1A 31

Gambar II.6 Tampilan *script* untuk pengunduhan data Sentinel-1A berdasarkan *list*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

data hasil pencarian 32

Gambar II.7 Tampilan utama laman BMKG 33

Gambar II.8 Tampilan laman pengunduhan data curah hujan 33

Gambar II.9 Contoh tampilan data curah hujan hasil pengunduhan 33

Gambar II.10 Tampilan laman pengunduhan orbit citra Sentinel-1 34

Gambar II.11 Tampilan laman pengunduhan data DEM 35

Gambar II.12 Tampilan laman pengunduhan perangkat lunak GMTSAR 35

Gambar II.13 Susunan *folder* pengolahan dengan GMTSAR 36

Gambar II.14 Tampilan sebagian isi *file* data.in 37

Gambar II.15 Tampilan isi *file* baseline_table.dat 37

Gambar II.16 Tampilan plot *perpendicular baseline* pada *file* baseline.ps 38

Gambar II.17 Tampilan contoh *file* hasil proses *alignment* 38

Gambar II.18 Tampilan isi *file* intf.in 39

Gambar II.19 Tampilan contoh *folder* interferogram masing-masing pasangan citra 40

Gambar II.20 Tampilan isi *file* intflist 40

Gambar II.21 Tampilan sebagian isi *file* merge_list 41

Gambar II.22 Tampilan *folder* hasil *merge* 41

Gambar II.23 Tampilan isi salah satu *folder* interferogram hasil *merge* 41

Gambar II.24 Tampilan variasi nilai koherensi pada *file* corr_stack.grd 42

Gambar II.25 Tampilan hasil *masking coherence* 42

Gambar II.26 Hasil unwrapping fase interferogram pertama 43

Gambar II.27 Isi *file* “intf.tab” (a) dan ”scene.tab” (b) 44

Gambar II.28 Isi *file* supermaster.PRM 45

Gambar II.29 Isi *file* “CPON.llh” 46

Gambar II.30 Isi *file* “Lokasi.llh” 46

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar II.31 Tampilan laman Giovanni..... 47

Gambar II.32 Tampilan daftar variabel GLDAS pada laman Giovanni 47

Gambar II.33 Tampilan sebagian *raw* data stasiun TMA BRG..... 49

Gambar III.1 Contoh peta variasi deformasi vertikal..... 51

Gambar III.2 Variasi korelasi citra hasil *stacking*..... 51

Gambar III.3 Peta variasi deformasi vertikal kumulatif dari waktu ke waktu..... 54

Gambar III.4 Peta kecepatan deformasi vertikal per tahun 55

Gambar III.5 Sebaran titik stasiun TMA dan titik pendekatan pada Google Earth ... 56

Gambar III.6 Grafik perbandingan deformasi vertikal InSAR terhadap data GNSS. 60

Gambar III.7 Grafik hubungan deformasi vertikal dengan curah hujan pada seluruh titik sampel..... 64

Gambar III.8 Grafik hubungan deformasi vertikal dengan GWS GLDAS pada seluruh titik sampel 67

Gambar III.9 Grafik hubungan deformasi vertikal dengan GWL stasiun TMA lahan gambut pada delapan titik sampel 70

Gambar III.10 Grafik hubungan tingkat curah hujan dengan GWL lahan gambut ... 71

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Spesifikasi umum satelit Sentinel-1 14

Tabel I.2 Resolusi spasial mode pengukuran satelit Sentinel-1A 15

Tabel II.1 Contoh pasangan data citra dan data *precise orbit* 34

Tabel III.1 Nilai minimum, maksimum, rerata, dan standar deviasi deformasi vertikal kumulatif pada masing-masing waktu akuisisi citra 52

Tabel III.2 Kecepatan deformasi vertikal minimum, maksimum, rerata, dan standar deviasi nya 55

Tabel III.3 Nama dan lokasi titik sampel ekstraksi deformasi vertikal kumulatif 57

Tabel III.4 Nilai deformasi vertikal kumulatif pada titik sampel 57

Tabel III.5 Kecepatan deformasi vertikal pada masing-masing titik sampel 58

Tabel III.6 Perhitungan RMSE deformasi vertikal InSAR terhadap data GNSS 59

Tabel III.7 Data curah hujan harian hasil seleksi 61

Tabel III.8 Korelasi deformasi vertikal dengan data curah hujan harian 62

Tabel III.9 Data GWS model hidrologi global GLDAS 65

Tabel III.10 Korelasi deformasi vertikal dengan data GWS GLDAS 65

Tabel III.11 Data *groundwater level* stasiun TMA hasil seleksi 68

Tabel III.12 Korelasi deformasi vertikal dengan data GWL stasiun TMA 68

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Daftar nama citra hasil pengunduhan 79

Lampiran B Daftar data citra satelit Sentinel-1A..... 82

Lampiran C Daftar data *precised orbit* Sentinel-1A 83

Lampiran D *Script* prep_data_linux.csh..... 84

Lampiran E *Script* select_pairs.csh 86

Lampiran F *Script* batch_tops.config 87

Lampiran G *Script* intf_tops.csh 90

Lampiran H *Script* create_merge_input.csh 95

Lampiran I *Script* merge_batch.csh 97

Lampiran J *Script* stack.csh 99

Lampiran K *Script* unwrap_intf.csh..... 101

Lampiran L *Script* prep_sbas.csh..... 101

Lampiran M *Script* konversi deformasi dalam LOS ke deformasi vertikal 103

Lampiran N *Script* konversi koordinat radar ke *longitude/latitude* 103

Lampiran O *Script* ekstraksi nilai deformasi vertikal pada titik sampel..... 103

Lampiran P *Script* visualisasi grafik dengan Matlab 104

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah deformasi aktif, baik berupa deformasi horizontal maupun deformasi vertikal. Deformasi dapat disebabkan oleh aktivitas lempeng tektonik, aktivitas vulkanik, perubahan simpanan air, maupun akibat aktivitas manusia (Yuwono dkk, 2013). Salah satu penyebab utama terjadinya deformasi di Indonesia adalah aktivitas tektonik. Hal ini berkaitan dengan lokasi Indonesia yang berada di pertemuan beberapa lempeng tektonik yaitu, Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (Verstappen, 2010). Kalimantan merupakan salah satu wilayah dengan pengaruh aktivitas lempeng-lempeng tektonik yang relatif kecil di Indonesia. Namun, pengamatan yang telah dilakukan mencatat bahwa deformasi vertikal juga terjadi di wilayah Kalimantan. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang menyebabkan terjadinya deformasi di Kalimantan (Heliani dkk, 2020).

Selain memiliki wilayah berupa hutan hujan tropis, Kalimantan juga memiliki lahan gambut seluas 32,06 % dari total lahan gambut yang ada di Indonesia (Adhy dkk, 2014). Kalimantan Barat menjadi salah satu provinsi di Kalimantan yang memiliki lahan gambut seluas 1.680.135 ha (Wahyunto dkk, 2014). Karakteristik utama dari lahan gambut ini adalah kandungan air tanahnya yang tinggi, sehingga menjadi salah satu sistem akuifer yang potensial. Menurut pendekatan Hoffman massa air pada sistem akuifer dapat mempengaruhi tekanan vertikal pada sistem akuifer (Castellazzi dkk, 2016). Berdasarkan pendekatan tersebut, perubahan simpanan air dianggap dapat mempengaruhi deformasi vertikal pada sistem akuifer.

Perubahan simpanan air pada sistem akuifer dapat disebabkan oleh alam maupun oleh aktivitas manusia. Faktor manusia dapat berupa pengambilan air tanah dengan sumur bor, alih fungsi lahan resapan menjadi lahan pertanian, dan lain-lain, sedangkan faktor alam yang berpengaruh antara lain adalah perubahan musim. Perubahan musim dapat mempengaruhi tingkat presipitasi maupun penguapan yang terjadi pada siklus hidrologi (Todd, 2005; Darwis.H., 2011)

Berbagai studi mengenai hubungan deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air telah dilakukan di beberapa wilayah. Penelitian di Kota Semarang oleh

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Yuwono (2013) dilakukan menggunakan sipat datar, *Global Navigation Position System* (GNSS), dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR). Penelitian lain di Kota Semarang oleh Diyanah dkk (2018) menggunakan metode *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR), selain itu di Kota Surabaya Mochammad dan Saepuloh (2017) juga melakukan penelitian serupa menggunakan *Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar* (SBAS InSAR) dan resistivitas listrik. Di Pulau Kalimantan Heliani dkk (2020) juga melakukan penelitian menggunakan GNSS, sementara penelitian lain di area sungai Choshui, Taiwan oleh Lu dkk (2020) dilakukan dengan metode InSAR, GNSS, *precise leveling,* serta data dari sumur pantau pemadatan sedimen. Bermacam-macam teknologi telah digunakan untuk mengukur besarnya deformasi vertikal, baik melalui pengukuran secara *terestrial*, maupun secara *extraterestrial* menggunakan satelit (*remote sensing)*.

InSAR merupakan salah satu metode jarak jauh yang telah banyak digunakan untuk keperluan studi terkait deformasi maupun hidrogeologi (Galloway dan Hoffmann, 2007; Yuwono dkk, 2013; Mochammad dan Saepuloh, 2017; Diyanah dkk, 2018; Lu dkk, 2020). Tidak seperti GNSS yang hanya dapat mengamati deformasi pada titik stasiun pengamatan yang dipasang, InSAR dianggap dapat memberikan informasi yang lebih menyeluruh pada seluruh area cakupan citra. Penggunaan InSAR dalam pengamatan deformasi vertikal terhadap perubahan simpanan air, dianggap juga lebih efektif dan efisien dari segi waktu dan biaya serta memiliki tingkat akurasi mencapai fraksi centimeter hingga milimeter bergantung pada jenis satelit yang digunakan (Galloway dan Hoffmann, 2007; Castellazzi dkk, 2016).

Berdasarkan penjelasan sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan analisis variasi baik spasial maupun temporal deformasi vertikal menggunakan InSAR di wilayah Kalimantan Barat. Deformasi vertikal hasil InSAR kemudian divalidasi dengan data stasiun curah hujan model hidrologi global, dan data kedalaman air tanah untuk melihat keterkaitannya dengan perubahan simpanan air.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.2. Identifikasi Masalah

Penelitian mengenai variasi spasiotemporal deformasi vertikal sebelumnya telah dilakukan di Pulau Kalimantan menggunakan GNSS yang menunjukan bahwa variasi spasiotemporal deformasi vertikal yang terjadi pada setiap stasiun berkorelasi tinggi dengan perubahan pola hidrologi (Heliani dkk, 2020). Penelitian lain dilakukan dengan menggunakan InSAR untuk mendapatkan korelasi penurunan muka tanah dengan perubahan ketinggian air tanah di wilayah sungai Choshui, Taiwan (Lu dkk, 2020). Namun, belum pernah dilakukan penelitian menggunakan InSAR pada wilayah lahan gambut di Kalimantan. Metode InSAR dianggap dapat memberikan informasi mengenai hasil pengukuran variasi deformasi vertikal yang lebih efisien dan efektif untuk area pengamatan yang luas karena dapat memberikan informasi pada seluruh area pengamatan bukan hanya terfokus pada satu titik.

I.3. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka dapat disusun pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Berapa nilai variasi spasial dan temporal deformasi vertikal di lahan gambut Kalimantan Barat yang diperoleh menggunakan InSAR?
2. Bagaimana hubungan deformasi vertikal yang diperoleh dengan perubahan simpanan air berdasarkan data model hidrologi global GLDAS, data curah hujan yang diperoleh dari BMKG, dan data stasiun Tinggi Muka Air (TMA) yang diperoleh dari BRG?

I.4. Cakupan Penelitian

Cakupan dalam penelitian ini meliputi:

1. Lokasi penelitian mencakup wilayah lahan gambut Kalimantan Barat.
2. Data yang digunakan adalah data citra Sentinel-1A dengan rentang waktu dari tahun 2016 hingga tahun 2019
3. Metode pengolahan citra Sentinel-1A menggunakan SBAS InSAR
4. Metode validasi hubungan deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air dilakukan dengan perbandingan dan perhitungan korelasi terhadap model hidrologi global *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), data curah

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

hujan yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), dan data stasiun Tinggi Muka Air (TMA) dari Badan Restorasi Gambut (BRG).

I.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai variasi spasial dan temporal deformasi vertikal yang ada di Kalimantan Barat menggunakan InSAR.
2. Mendapatkan hubungan antara deformasi vertikal dari InSAR dengan perubahan simpanan air berdasarkan data model hidrologi global *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), data curah hujan yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), dan data stasiun Tinggi Muka Air (TMA) dari Badan Restorasi Gambut (BRG).

I.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang berupa variasi spasial dan temporal nilai deformasi vertikal di Kalimantan Barat dapat digunakan untuk keperluan mitigasi bencana. Selanjutnya hasil nilai korelasi deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air diharapkan dapat menjadi dasar untuk melakukan perhitungan estimasi volume perubahan simpanan air tanah, sehingga nantinya dapat dijadikan dasar kebijakan konservasi dan manajemen sumber daya air.

I.7. Tinjauan Pustaka

Deformasi vertikal dapat berupa penurunan (*subsidence)* maupun kenaikan (*uplift)* permukaan tanah. Fenomena ini seringkali terjadi di berbagai wilayah di Indonesia. Selain disebabkan oleh aktivitas tektonik, deformasi vertikal dapat disebabkan oleh faktor lain seperti perubahan simpanan air, baik akibat siklus hidrologi maupun aktivitas manusia (Yuwono dkk, 2013).

Beberapa penelitian mengenai deformasi vertikal dan kaitannya dengan perubahan simpanan air telah dilakukan baik secara *terestrial* maupun jarak jauh. Metode yang digunakan antara lain metode sipat datar, *Global Navigation Position*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

System (GNSS), pengukuran langsung, dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Yuwono dkk, 2013; Lu dkk, 2020), metode *Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar* (SBAS InSAR) dan resistivitas listrik (Mochammad dan Saepuloh, 2017), metode *Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS InSAR) (Diyanah dkk, 2018), dan metode *Global Navigation Position System* (GNSS) (Heliani dkk, 2020). Salah satu metode yang saat ini banyak berkembang dan digunakan terkait penelitian ini adalah metode *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (InSAR).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Yuwono dkk (2013) menunjukkan bahwa dari beberapa metode yang digunakan untuk mendeteksi hubungan penurunan muka tanah dengan penurunan muka air tanah di Kota Semarang, diperoleh nilai korelasi antara 0,807 – 0,956. Penelitian lain yang pernah dilakukan menggunakan metode InSAR di Kota Surabaya oleh Mochammad and Saepuloh (2017) juga menunjukkan korelasi yang cukup besar yaitu sebesar 0,96. Korelasi antara penurunan muka tanah dengan akuifer juga bergantung pada jenis akuifer, akuifer dangkal memiliki korelasi positif sedangkan akuifer dalam memiliki korelasi negatif (Diyanah dkk,2018). Penelitian-penelitian tersebut banyak dilakukan pada wilayah dengan aktivitas tektonik yang besar, baik itu di Pulau Jawa, Sumatera, Sulawesi, hingga wilayah Indonesia bagian timur, sehingga cukup sulit untuk melihat hubungan antara deformasi vertikal yang terjadi dengan perubahan simpanan air.

Penelitian terbaru yang dilakukan di wilayah Kalimantan oleh Heliani dkk (2020) menggunakan metode *Global Navigation Position System* (GNSS) untuk mendeteksi deformasi vertikal yang terjadi. Dalam penelitian ini diperoleh nilai deformasi vertikal yang diperoleh berkisar 5 mm sampai 15 mm dengan korelasi terhadap tingkat curah hujan berkisar -0,61 sampai 0,54. Namun, GNSS memiliki keterbatasan dalam hal cakupan area akuisisi data yang dapat dilakukan.

InSAR merupakan salah satu alternatif metode yang dapat dilakukan untuk studi deformasi vertikal. Prinsip dari metode ini adalah melakukan interpretasi fase dari beberapa citra dengan waktu akuisisi yang berbeda pada orbit yang sama. Beberapa metode InSAR yang dapat digunakan dalam aplikasi hidrogeologi diantaranya, *Differential InSAR* (DInSAR), *Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar* (SBAS InSAR), serta *Persistent Scatterer Interferometric*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) (Castellazzi dkk, 2016). Salah satu penelitian mengenai deformasi vertikal menggunakan InSAR telah dilakukan oleh Dai dkk (2015). Penelitian ini menggunakan citra SAR dari berbagai satelit untuk memperoleh nilai kecepatan deformasi vertikal di Shanghai. Pengolahan citra SAR dilakukan menggunakan metode *Temporarily Coherent Point SAR Interferometry* (TCP InSAR).

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah wilayah penelitian yang terfokus pada area dengan efek tektonik kecil yaitu di Kalimantan Barat dengan menggunakan metode InSAR. Kemudian, model yang digunakan untuk validasi hubungan deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air adalah model hidrologi global *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), data stasiun curah hujan, dan data stasiun tinggi muka air (TMA).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.8. Landasan Teori

I.8.1. Gambut

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 71 tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut, definisi gambut adalah material organik yang terbentuk secara alami dari sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna dan terakumulasi pada rawa. Lahan gambut memiliki struktur yang berlapis – lapis karena proses pembentukannya yang bertahap. Secara berselang-seling tingkatan dekomposisi, jenis tanaman yang diendapkan atau jenis tanah mineral ditunjukkan dalam lapisan-lapisan tersebut (Sukarman, 2014). Material organik sebagai penyusun utama tanah gambut menjadikan tanah gambut disebut sebagai *organosol* dalam sistem klasifikasi tanah nasional. Kandungan bahan organik pada gambut dapat mencapai 20% - 30% dengan ketebalan lahan organik mencapai 50 cm atau bahkan lebih (Ramdhan dan Siregar, 2018).

Kandungan organik yang dominan menjadikan lahan gambut memiliki kemampuan menyimpan air yang lebih baik daripada jenis tanah mineral. Tanah gambut juga memiliki porositas serta konduktivitas hidrolik yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan gambut yang bersifat sarang sehingga air dapat mengisi pori dari gambut. Namun, gambut juga sangat mudah kehilangan air. Ketika lahan gambut didrainase maka penurunan muka air gambut dapat terjadi dan mengakibatkan penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah pada lahan gambut juga dapat disebabkan terjadinya proses dekomposisi (Dariah dkk, 2013).

Indonesia merupakan negara urutan ke empat dengan wilayah gambut terluas. Menurut data Dewan Perubahan Iklim Nasional tahun 2013 luas lahan gambut di Indonesia mencapai hampir 50% dari total luas lahan gambut di dunia. Persebaran lahan gambut di Indonesia meliputi Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua dapat dilihat pada Gambar I.1 (Suwarno dkk, 2016; Ramdhan dan Siregar, 2018).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

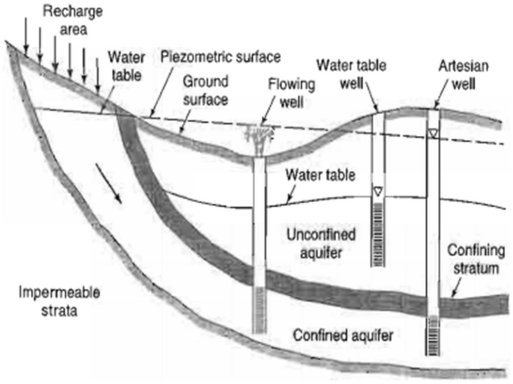


Gambar I.1 Persebaran lahan gambut di Indonesia (Pantau Gambut, 2020)

Tanah gambut memiliki karakteristik jumlah simpanan airnya yang tinggi, yaitu mencapai lebih dari 90% dari satuan volume, terutama pada gambut yang tebal dan memiliki kubah. Kubah pada lahan gambut berfungsi menyimpan dan mengalirkan air sampai ke sungai ketika musim kemarau (Suwarno dkk, 2016). Oleh karena itu, tanah gambut memiliki peranan penting bagi ketersediaan air di wilayah sekitar.

I.8.2. Akuifer

Suatu formasi yang mengandung materi *permeable* jenuh yang cukup untuk menghasilkan sejumlah besar air ke sumur dan mata air disebut sebagai akuifer, dengan kata lain akuifer merupakan lapisan bawah tanah yang mampu menyimpan dan mengalirkan air. Akuifer secara umum sangat luas dan dibatasi oleh material *impermeable* baik di atas atau di bagian bawahnya, yang secara stratigrafis berdekatan dengan satu atau lebih akuifer.



Gambar I.2 Ilustrasi *confined* dan *unconfined aquifers* (Todd, 2005)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Secara umum akuifer dapat diklasifikasikan menjadi *unconfined* dan *confined* yang diilustrasikan pada Gambar I.2, didefinisikan berdasarkan ada tidaknya permukaan air (*water table)*.

1. *Unconfined aquifer*

   Akuifer tidak terbatas adalah jenis akuifer di mana variasi permukaan air dalam bentuk bergelombang dan kemiringan bergantung pada wilayah pengisian dan pembuangan, pemompaan dari sumur dan permeabilitas. Perubahan volume air dalam penyimpanan di dalam akuifer akan mempengaruhi naik dan turunnya permukaan air (Todd, 2005).

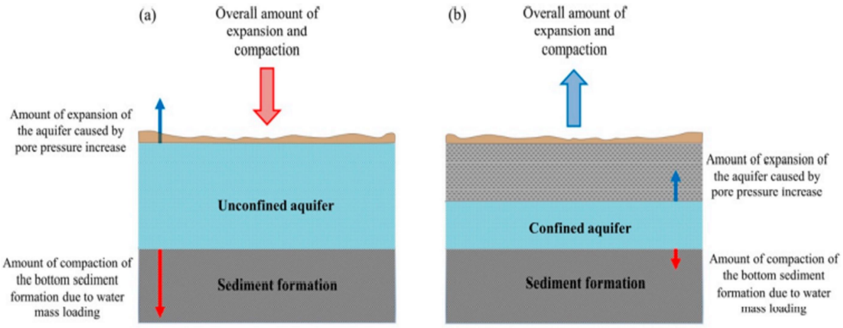
2. *Confined aquifer*

   Akuifer ini dikenal juga sebagai akuifer artesis (*Artesian aquifers)* atau akuifer bertekanan, terjadi jika air tanah terkurung di bawah tekanan yang lebih besar dari atmosfer (Todd, 2005). Lapisan kedap air (*impermeable*) berada di atas dan di bawah akuifer, sehingga pada saat akuifer ditembus oleh sebuah sumur maka air akan naik ke atas akuifer tersebut (USGS, 2020).

Hidrogeologi merupakan komponen yang kompleks, sehingga hubungan deformasi permukaan dengan perubahan simpanan air dapat berupa hubungan positif maupun hubungan negatif. Hubungan ini bergantung pada tekanan pori dan pemuatan massa air. Konsep ini menjelaskan bahwa jika terjadi kenaikan permukaan air tanah, peningkatan tekanan pori menyebabkan pengembangan formasi sedimen, sedangkan pemuatan massa air menyebabkan pemadatan formasi sedimen. Akumulasi dari pengembangan dan pemadatan yang terjadi tercermin pada deformasi vertikal (Lu dkk, 2020). Ilustrasi konsep ini ditampilkan pada Gambar I.3.

Berdasarkan model konseptual tersebut, saat deformasi vertikal dipengaruhi oleh pembebanan massa air, maka akan terjadi hubungan negatif antara deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air. Namun, saat deformasi vertikal dipengaruhi oleh tekanan air pori maka akan terjadi hubungan positif antara deformasi vertikal dengan perubahan simpanan air (Lu dkk, 2020).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.3 (a) Deformasi vertikal didominasi oleh pengaruh pembebanan massa air dengan nilai koefisien simpanan akuifer yang lebih besar (b) Deformasi vertikal didominasi oleh tekanan air pori dengan nilai koefisien simpanan akuifer yang lebih kecil (Lu dkk, 2020).

I.8.3. *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

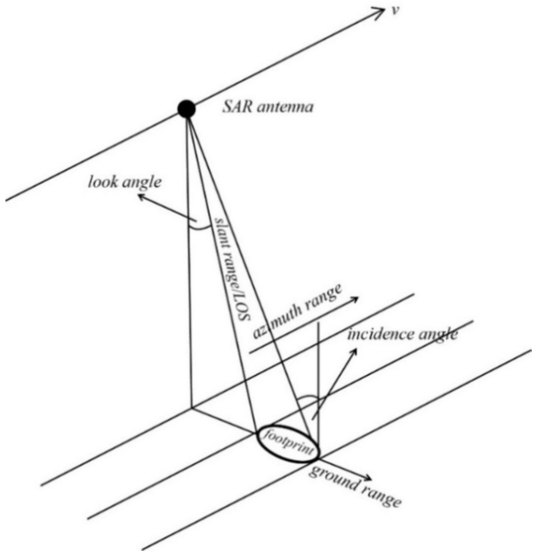
Synthetic Aperture Radar atau SAR merupakan teknologi pencitraan aktif yang memancarkan sendiri pulsa elektromagnetik dari sensor radar ke permukaan objek dan dapat dipasangkan pada wahana pesawat maupun satelit buatan. Sistem SAR pada umumnya beroperasi pada L, C, atau X *band* gelombang mikro yang dapat menembus awan, sehingga dapat menghasilkan citra resolusi tinggi baik siang atau malam hari tanpa terpengaruh oleh cuaca (Yastika dan Shimizu, 2016; Thorpe, 2018).

Satelit SAR melakukan pencitraan permukaan bumi dengan mengarahkan antena radar sejajar dengan orbit satelit, menghadap ke bawah sehingga membentuk sudut kemiringan antara titik nadir dengan *slant range* yang biasa disebut dengan *look angle* atau *off-nadir angle. Slant range* atau *Line of Sight* (LOS) merupakan garis sepanjang arah pandang radar yang ditarik dari sensor radar ke objek. Sudut lain yang dikenal dalam sistem pencitraan SAR adalah *incidence angle,* yaitu sudut antara *slant range* dan arah vertikal dari permukaan objek pencitraan. Besarnya *incidence angle* dipengaruhi oleh kelengkungan bumi dan permukaan bumi yang tidak rata, jika secara sederhana permukaan bumi dianggap rata maka besarnya *incidence angle* sama dengan *off-nadir angle* (Ferreti dkk., 2007).

Geometri pencitraan SAR secara umum dapat dilihat pada Gambar I.4. Satelit SAR akan memancarkan pulsa tunggal pada frekuensi tertentu yang akan menerangi suatu permukaan wilayah (*footprint*) seiring pergerakan satelit pada lintasannya dengan kecepatan tertentu. Pancaran pulsa radar menerangi suatu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

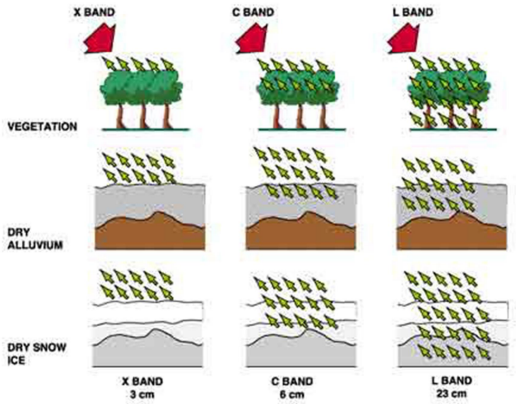
wilayah sepanjang *azimuth range direction* dan *ground range direction*. Besarnya frekuensi dan panjang gelombang pada pancaran pulsa radar bergantung pada *band* gelombang mikro yang digunakan pada satelit tersebut baik itu *band* L, C, maupun X (Ferreti dkk, 2007a; Thorpe, 2018).



Gambar I.4 Ilustrasi geometri pencitraan SAR, modifikasi dari (Thorpe, 2018)

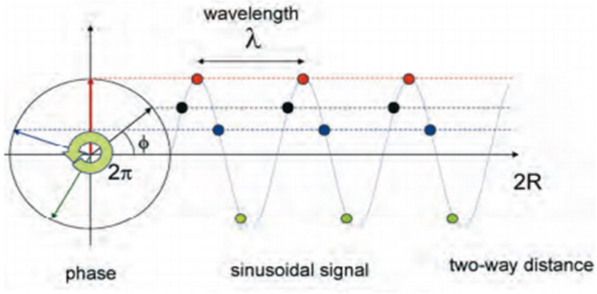
Perbedaan *band* yang digunakan berpengaruh pada kedalaman penetrasi dari pancaran radar. *Band* dengan panjang gelombang yang lebih panjang akan menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. Pada *band* X yang memiliki panjang gelombang paling pendek berkisar 3 cm, kedalaman penetrasi hanya akan mencapai bagian atas atau kanopi pepohonan, sedangkan pada *band* L dengan panjang berkisar 23 cm, kedalaman penetrasi radar mampu menembus daun dan cabang-cabang pohon yang kecil (ESA Earth Online, 2021). Tingkat kedalaman penetrasi berdasarkan *band* yang digunakan ditunjukan pada Gambar I.5. Satelit SAR juga menyediakan dua sudut pandang dari permukaan bumi. Ketika satelit bergerak dari arah utara ke selatan atau disebut *descending orbit* sensor akan mengarah ke barat, sedangkan ketika bergerak dari arah selatan ke utara yang disebut juga *ascending orbit* sensor akan mengarah ke timur (Susanto dan Julzarika, 2009).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.5 Kedalaman penetrasi berdasarkan jenis band (ESA Earth Online, 2021)

Objek akan memantulkan kembali energi hamburan dari pancaran pulsa radar pada satelit yang kemudian direkam kembali oleh sensor satelit SAR. Besarnya energi hamburan yang dipantulkan tergantung dari tingkat kekasaran dan sifat dielektrik dari permukaan suatu objek (Thorpe, 2018). Saat mengenai objek di permukaan bumi, hamburan pulsa radar akan memiliki jarak yang berbeda-beda dari sensor radar (*slant range)*. Hal ini menyebabkan terjadinya *delay* antara pemancaran dengan penerimaan gelombang. *Delay* yang terjadi setara dengan perubahan fase antara sinyal atau gelombang yang dipancarkan dengan yang diterima. Konsep ini didasarkan fungsi sinusoidal pada gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh sensor radar yang diilustrasikan pada Gambar I.6 (Ferreti dkk., 2007a).



Gambar I.6 Fungsi sinusoidal gelombang elektromagnetik satelit radar (Ferreti dkk, 2007, part a)

Fungsi sinusoidal sin bersifat periodik dengan periode 2 radian. Fase gelombang yang dipancarkan diasumsikan sebesar nol dan gelombang yang diterima kembali mencakup jarak perjalanan 2R dari satelit ke target dan kembali, sehingga perubahan fase dituliskan ke dalam persamaan berikut:

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} 2R = \frac{4\pi}{\lambda} R \quad \text{(I.1)}$$

Keterangan rumus:

ϕ : beda fase gelombang dipancarkan dan diterima kembali

λ : panjang gelombang

$2R$: jarak yang ditempuh gelombang dari satelit ke objek dan dipantulkan kembali

I.8.4. Sentinel-1A

I.8.4.1 Karakteristik umum. Satelit Sentinel-1 merupakan salah satu misi satelit yang dikembangkan oleh *European Space Agency* (ESA). Sentinel 1 terdiri atas Sentinel-1A dan Sentinel-1B, kedua misi satelit ini melintasi orbit yang sama dan memiliki karakteristik yang hampir identik. Sentinel-1A (Gambar I.7) diluncurkan pada tahun 2014 dan Sentinel-1B diluncurkan pada tahun 2016 (ESA web-Sentinel, 2021). Sentinel 1 menghasilkan citra SAR untuk keperluan monitoring zona laut es dan lingkungan kutub, pemetaan untuk mendukung bantuan kemanusiaan dalam situasi krisis, pengawasan lingkungan laut, memantau risiko gerakan tanah, dan pemetaan permukaan tanah, hutan, maupun agrikultur. Sentinel-1A melakukan perekaman baik siang dan malam tidak terpengaruh oleh cuaca maupun awan (ESA, 2012).



Gambar I.7 Satelit Sentinel-1A (ESA, 2012)

Sentinel-1A menggunakan saluran gelombang C dengan frekuensi 5250-5570 MHz. Satelit ini memiliki ketinggian orbit 693 km dengan tipe *near polar, sun – synchronous* dengan inklinasi 98,18° dan mengorbit setiap 12 hari sekali. Spesifikasi umum dari Sentinel-1A ditunjukan dalam Tabel I.1 (ESA, 2012) .

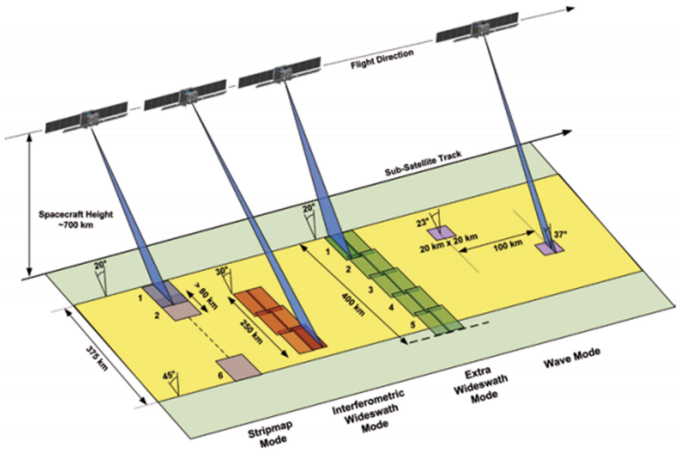
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel I.1 Spesifikasi umum satelit Sentinel-1 (ESA, 2012)

Lifetime	*7 years (consumables for 12 years)*
Orbit	*Near-polar Sun-synchronous orbit at 693 km altitude; 12-day repeat cycle; 175 orbits per cycle*
Mean local solar time	*18:00 at ascending node*
Orbital period	*98.6 min*
Maximum eclipse duration	*19 min*
Attitude stabilization	*3-axis stabilized*
Attitude accuracy	*0.01° (each axis)*
Instrument	*Right looking with respect to the flight direction*
Steering	*Zero Doppler yaw steering and roll steering (−0.8° to +0.8°)*
Attitude profile	*Geocentric and geodetic*
Orbit knowledge	*10 m (each axis, 3σ) using GPS*
Operative autonomy	*96 h*
Launch mass	*2300 kg (including 130 kg mono-propellant fuel)*
Dimension (stowed)	*3900 × 2600 × 2500 mm*
Solar array average power	*5900 W (end-of-life)*
Battery capacity	*324 Ah*
Satellite availability	*0.998*
S-band TT&C data rates	*64 kbit/s telecommand; 128 kbit/s – 2 Mbit/s telemetry (programmable)*
X-band downlink data rate	*2 × 260 Mbit/s*
Launcher	*Soyuz from Kourou*

I.8.4.2 Mode akuisisi. Sentinel-1A memiliki empat mode akuisisi yang berbeda yaitu *Interferometric Wide-swath* (IW) *Wave* (WV), *Strip Map* (SM), dan *Extra Wide-swath* (EW) yang diilustrasikan pada Gambar I.8. Mode WV hanya mendukung polarisasi tunggal saja (HH atau VV), sedangkan mode IW, SM, dan EW mendukung polarisasi tunggal maupun polarisasi ganda (HH+HV, VV+VH). Masing-masing mode akuisisi memiliki lebar *swath* yang berbeda beda, serta menghasilkan resolusi spasial yang dijelaskan secara rinci pada Tabel I.2 (ESA web-Sentinel, 2021).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



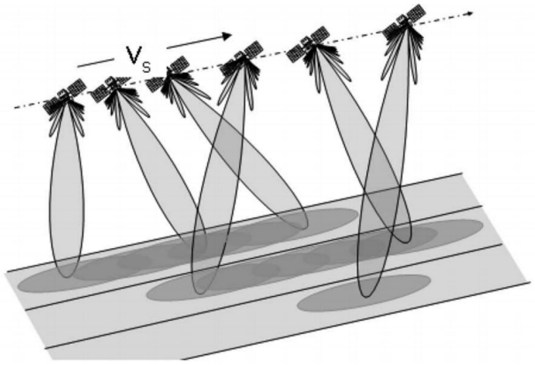
Gambar I.8 Ilustrasi mode akuisisi citra satelit Sentinel-1 (ESA, 2012)

Tabel I.2 Resolusi spasial mode pengukuran satelit Sentinel-1A (ESA, 2012)

Measurement Mode	***Incidence Angle***	***Azimuth Resolution***	***Ground Range Resolution***	***Swath***
Interferometric Wide-swath mode (IW)	31° – 46°	20 m	5 m	250 km
Wave mode (WV)	23° + 37° (*mid-incidence angle*)	5 m	5 m	*Vignette* 20 × 20 km
Strip Map mode (SM)	20° – 47°	5 m	5 m	80 km
Extra Wide-swath mode (EW)	20° – 47°	40 m	20 m	410 km

Pada studi deformasi mode akuisisi yang sering digunakan adalah mode akuisisi IW. Mode akuisisi ini mencakup pencitraan di wilayah daratan. Mode ini mengakuisisi data *swath* lebar yang terdiri atas tiga *sub-swath* dengan menggunakan teknik *Terrain Observation with Progressive Scan* (TOPSAR) (ESA, 2012). Prinsip metode TOPSAR pada Gambar I.9 adalah melakukan akuisisi dari depan ke belakang, sensor melakukan pencitraan pada *burst* yang sangat panjang dan memutar antena sepanjang proses akuisisi. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan kualitas citra yang sama pada setiap *sub-swath* (De Zan dan Guarnieri, 2006).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar I.9 Teknik akuisisi TOPSAR (De Zan dan Guarnieri, 2006)

I.8.4.3 Level produk. Menurut informasi pada web ESA Sentinel, produk Sentinel-1A dapat diakses secara gratis baik bagi masyarakat umum maupun penggunaan komersial dan ilmiah. Semua produk data akan didistribusikan dalam format *Standart Archieve Format for Europe* (SAFE). Produk Sentinel-1A dibagi menjadi beberapa level sebagai berikut:

a. Level-0

   Level produk ini berisi data SAR mentah tidak fokus terkompresi. Data ini perlu dilakukan dekompresi dan pemrosesan menggunakan prosesor SAR agar dapat digunakan.

b. Level-1

   Data yang secara umum tersedia untuk pengguna adalah data pada level produk ini. Level ini data diproduksi dalam bentuk *Single Look Complex* (SLC) dan *Ground Range Detected* (GRD). Produk SLC berisi data SAR focus tergeoreferensi menggunakan data orbit dan *attitude* dari satelit, serta mengandung informasi fase dan amplitudo. Sementara produk GRD berisi data *multi-look*, yang terproyeksi pada *ground range* menggunakan model ellipsoid bumi dan sudah kehilangan informasi fase.

c. Level-2

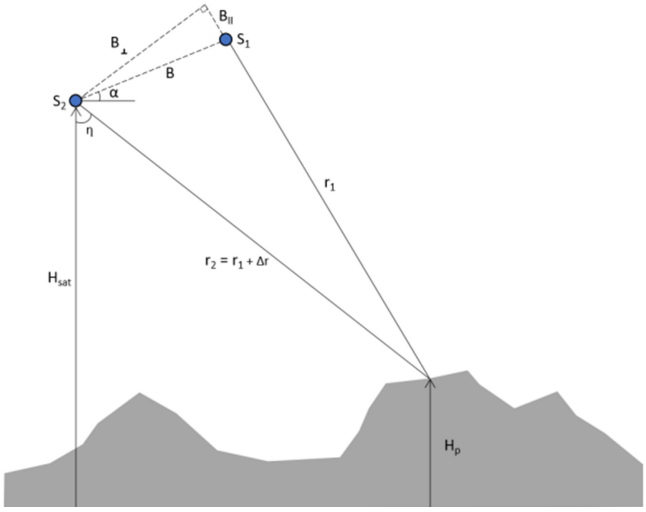
   Level produk ini berisi komponen untuk *Ocean Wave spectra* (OSW) yang memberikan kontinuitas dengan ERS dan ASAR WV, serta dua komponen baru: *Ocean Wind Fields* (OWI) dan *Surface Radial Velocities* (RVL).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.8.5. *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR)

InSAR merupakan salah satu metode dalam penginderaan jauh menggunakan citra SAR. Teknik interferometri pada dasarnya menggunakan informasi beda fase dari sinyal radar antara dua citra yang diakuisisi dari sudut pandang berbeda, waktu berbeda, maupun keduanya (Simons dan Rosen, 2015). Dua citra radar yang diambil dari sudut pandang yang sedikit berbeda dapat dikorelasikan silang piksel per piksel untuk menghasilkan interferogram (Thorpe, 2018). Beda fase memiliki nilai pada rentang minus *phi* hingga positif *phi*. Beda fase pada teknik interferogram ini dapat digunakan untuk memperoleh informasi ketinggian suatu objek maupun melihat perubahan yang terjadi di permukaan bumi yang disebut sebagai deformasi (Susanto dan Julzarika, 2009).

Penggunaan interferometri untuk studi deformasi menggunakan citra SAR yang diambil pada posisi yang sama dengan waktu yang berbeda. Selama waktu dua akuisisi yang berbeda, jika tidak terjadi deformasi maka nilai fase akan sama dengan fase perekaman sebelumnya, namun apabila terjadi deformasi akan terjadi perbedaan fase sebagai akibat dari perubahan jarak sensor radar dengan objek pencitraan dalam *slant range/LOS direction* (Thorpe, 2018). Akuisisi citra pertama dan kedua dibedakan oleh sebuah garis dasar yang disebut dengan *baseline* (*B*), yang dibedakan menjadi *perpendicular baseline* ($B_\perp$) *dan parallel baseline* (B_{II}) yang diilustrasikan pada Gambar I.10.



Gambar I.10 Ilustrasi perekaman citra SAR pada metode InSAR (Thorpe, 2018)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar di atas menunjukkan konfigurasi perekaman dua citra SAR pada waktu S_1 dan S_2 saat merekam objek yang sama. Jarak antara objek dengan kedua satelit ditunjukkan dengan r_1 dan r_2, sehingga fase pada interferogram dapat dituliskan ke dalam persamaan berikut (Thorpe, 2018):

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$$
$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}(r_1 - r_2)$$
$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}\Delta r \quad \text{(I.2)}$$

Keterangan rumus:

$\Delta\phi$: beda fase

λ : panjang gelombang

Δr : beda jarak antara objek dengan satelit pada waktu akuisisi pertama dan kedua dalam *Line of Sight* (LOS)

I.8.5.1 DInSAR; Beda fase pada interferogram sebenarnya terdiri atas beberapa kontribusi lain seperti beda fase topografi, beda fase deformasi, beda fase atmosferik hingga fase orbit yang dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\Delta\phi int = \Delta\phi flat + \Delta\phi topo + \Delta\phi\, disp + \Delta\phi atm + \Delta\phi noise \quad \text{(I.3)}$$

$\Delta\phi flat$ termasuk di dalamnya beda fase orbital yang disebabkan oleh perbedaan pada orbit satelit ketika akuisisi kedua citra SAR, $\Delta\phi topo$ adalah beda fase akibat kondisi topografi permukaan bumi sebagai objek pencitraan, $\Delta\phi\, disp$ beda fase sebagai akibat terjadinya deformasi di permukaan bumi dalam *slant range direction* atau LOS antara dua waktu akuisisi SAR, $\Delta\phi atm$ merupakan beda fase akibat penundaan propagasi atmosfer, dan $\Delta\phi noise$ merupakan beda fase akibat gangguan sistem dan lingkungan (Ruiz-Constán dkk., 2016).

Deformasi permukaan dapat diperoleh dengan menghilangkan semua kontribusi beda fase lain yang telah disebutkan di atas. $\Delta\phi flat$ dan $\Delta\phi topo$ bergantung pada *perpendicular baseline* dan dapat dihitung secara akurat menggunakan data *precised orbit satellite* dan DEM. Namun, *perpendicular baseline* yang besar dan *noise* dari DEM dapat menambahkan *noise* dekorelasi karena perubahan hamburan permukaan objek dari waktu ke waktu (Ruiz-Constán dkk, 2016). $\Delta\phi atm$ merupakan sumber terbesar kesalahan dalam interferometri, namun sangat sulit untuk dieliminasi (Thorpe, 2018).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Variasi Spasiotemporal Deformasi Vertikal Dipengaruhi oleh Perubahan Simpanan Air di Kalimantan Barat menggunakan InSAR
EVI LISTYORINI, Ir.Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.8.5.2. *Alignment.* *Alignment* yang juga disebut proses koregistrasi merupakan tahapan awal dalam metode InSAR. Setiap citra *slave* akan dicocokkan terhadap citra *master* untuk mendapatkan target yang sama pada koordinat *range* dan *azimuth*. Proses *alignment* harus dilakukan berdasarkan piksel demi piksel. Ilustrasi proses ini dapat dilihat pada Gambar I.11. Tahap ini menggunakan pendekatan fungsi polinomial sebagai berikut (Ferreti dkk., 2007):

$$\begin{cases} r_s = a.r_M^2 + b.r_M + c.a_M + d \\ a_s = e.r_M^2 + f.r_M + g.a_M + h \end{cases} \quad \text{..... (I.4)}$$

Keterangan rumus:

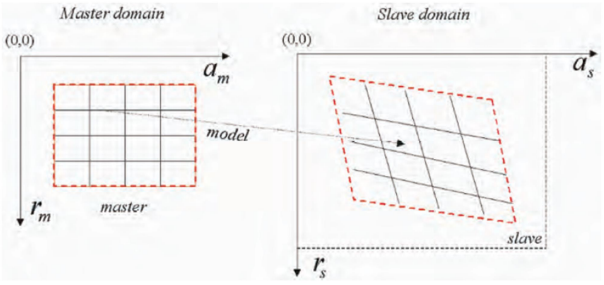
r_M: koordinat *range* dari citra *master*

a_M: koordinat *azimuth* dari citra *master*

r_s: koordinat *range* citra *slave* yang harus dievaluasi

a_s: koordinat *azimuth* citra *slave* yang harus dievaluasi

Dalam persamaan I.4 terdapat beberapa parameter transformasi yang meliputi ketentuan orde dua (a,e) yang diperlukan untuk proses *swath* skala besar, regangan pada *range* (*b*) disebabkan variasi *baseline pada range,* regangan *azimuth* (g) disebabkan variasi *pulse repetition frequency* atau kecepatan satelit, kemiringan *azimuth* dan *range* (c,f) akibat dari rotasi citra untuk sudut yang kecil, koefisien *azimuth* tetap (*d*) akibat perbedaan waktu, dan pergeseran *range* tetap (*h*) akibat perbedaan *perpendicular baseline*. Persamaan di atas mengasumsikan bahwa citra *slave* adalah citra yang benar-benar disampel ulang sehingga interferogram akhir akan memiliki referensi yang sama dengan citra *master* (Ferreti dkk, 2007, part B).



Gambar I.11 Ilustrasi proses *alignment* citra (Ferreti dkk, 2007, part B)

I.8.5.3 *Interferogram formation and coherence estimation.* Tahap ini melakukan perkalian silang antara citra *master* dan *slave*. Interferogram menyajikan amplitudo hasil perkalian citra *master* dan *slave* serta beda fase dari dua citra