TUGAS AKHIR – RM 184831

ANALISIS PENURUNAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PS-INSAR DI DAERAH BLOK CEPU

ARIFATUL MU'AMALAH
03311640000028

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR – RM 184831

ANALISIS PENURUNAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PS-INSAR DI DAERAH BLOK CEPU

ARIFATUL MU'AMALAH
03311640000028

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

UNDERGRADUATE THESIS - RM 184831

LAND SUBSIDENCE ANALYSIS USING PS-INSAR METHOD IN CEPU BLOCK AREA

ARIFATUL MU'AMALAH
03311640000028

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

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

ANALISIS PENURUNAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PS-INSAR DI DAERAH BLOK CEPU

Nama Mahasiswa : Arifatul Mu'amalah
NRP : 03311640000028
Departemen : Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Pembimbing : Ira Mutiara Anjasmara ST., M.Phil., Ph.D
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRAK

Blok Cepu merupakan sebuah wilayah eksploitasi minyak dan gas bumi yang terdapat di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Eksploitasi minyak dan gas dilakukan dengan melakukan pengeboran pada sumur-sumur yang tersebar mulai dari Blora sampai Bojonegoro sehingga blok ini diproyeksikan menjadi tulang punggung produksi minyak nasional Indonesia, mengalahkan produksi minyak Blok Rokan yang ada di Riau. Dengan kondisi tersebut, maka perlu diselidiki adanya kemungkinan terjadi peristiwa penurunan tanah di wilayah tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan metode PS-InSAR. Pemilihan metode PS-InSAR digunakan karena dapat mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu dengan akurasi DEM mencapai milimeter. Data yang digunakan adalah citra satelit ALOS-PALSAR dengan rentang akuisisi pada tahun 2007 hingga 2009 dan citra satelit Sentinel-1A dengan rentang akuisisi pada tahun 2014 hingga tahun 2019.

Proses pengolahan PS-InSAR dilakukan menggunakan perangkat lunak SarProz.

Hasil dari pengolahan SarProz menunjukkan terjadinya deformasi berupa penurunan tanah di hampir seluruh blok dari Blok Cepu, kecuali pada Blok D. Sedangkan, deformasi berupa kenaikan tanah hanya terjadi di bagian timur dari Blok E. Laju penurunan tanah terbesar terjadi di Blok A dengan kecepatan rata-rata sebesar -27,75 mm/tahun. Evaluasi terhadap kondisi geologi pun dilakukan untuk mendukung data hasil pengolahan penelitian.

Kata Kunci: Blok Cepu, Penurunan Tanah, PS-InSAR

LAND SUBSIDENCE ANALYSIS USING PS-INSAR METHOD IN CEPU BLOCK AREA

Name : **Arifatul Mu'amalah**
NRP : **03311640000028**
Departement : **Teknik Geomatika FTSPK-ITS**
Supervisor : **Ira Mutiara Anjasmara ST., M.Phil., Ph.D**
Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRACT

The Cepu Block is an oil and gas exploitation area located in Blora Regency, Central Java and Bojonegoro Regency, East Java. Oil and gas exploitation is carried out by drilling wells over Blora Regency through Bojonegoro Regency so that this block is staying up to become Indonesia's largest oil production, defeating Rokan Blok oil production in Riau. Based on these conditions, it is necessary to investigate the possibility of land subsidence occurring in this region.

The purpose of this research is to estimate the land subsidence using the PS-InSAR method. The PS-InSAR method is chosen to be used because it can measure small movements in an area over time with millimeters DEM accuracy. The data used in this research are ALOS-PALSAR satellite imagery with acquisition range from 2007 to 2009 and Sentinel-1A satellite imagery with acquisition range from 2014 to 2019. The PS-InSAR processing is done using SarProz.

The result of SarProz processing shows deformation in the form of land subsidence in almost all the blocks, except for

Block D. While deformation in the form of uplift occurred in the eastern part of the Block E. The largest land subsidence rate occurred in Block A with an average of -27.75 mm/year. An evaluation of the geological conditions was also carried out to support the results of the processing

Keyword : Cepu Block, Land Subsidence, PS-InSAR.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENURUNAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PS-INSAR DI DAERAH BLOK CEPU

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ARIFATUL MU'AMALAH
0331164000028

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ira Mutiara Anjasmara ST., M.Phil., Ph.D. (.....)
NIP. 19781231 200212 2 001

Dr. Ir. Muhammad Taufik (.....)
NIP. 195509191986031001

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

SURABAYA, 7 AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "**ANALISIS PENURUNAN TANAH MENGGUNAKAN METODE PS-INSAR DI DAERAH BLOK CEPU"** dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis sehingga dapat terselesaikan laporan tugas akhir ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya
2. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan do'a, dukungan, motivasi serta kasih sayang kepada penulis untuk kelancaran mengerjakan penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmara ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing I, atas segala bimbingan dan sarannya.
5. Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku dosen pembimbing II, atas segala bimbingan dan sarannya
6. Seluruh bapak-ibu dosen pengajar dan karyawan Teknik Geomatika yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan
7. Mas Sayidinal Fikri selaku senior pasca sarjana Geomatika yang telah banyak membantu dalam studi literatur mengenai penggunakaan *software*
8. Teman-teman G18, mahasiswa Teknik Geomatika 2016 yang telah banyak membantu dan menemani selama menempuh kuliah di Teknik Geomatika ITS
9. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak dapat disebutkan satu-persatu

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak.

Surabaya, 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxiii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
1.5 Manfaat 4
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Profil Blok Cepu 5
2.2 Penurunan Tanah 6
2.3 Geologi Regional 7
2.4 Kondisi Geologi Blok Cepu 10
2.5 InSAR 13

2.6 DInSAR 14
2.7 PS-InSAR 15
2.8 ALOS-PALSAR-1 18
2.9 Sentinel-1 20
2.10 SARProz 24
2.11 Penelitian Terdahulu 25
BAB III 29
METODOLOGI 29
3.1 Lokasi Penelitian 29
3.2 Data dan Peralatan 29
3.2.1 Data 29
3.2.2 Peralatan 35
3.3 Metodologi Pelaksanaan Pengolahan 35
3.3.1 Tahapan Penelitian 35
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data 37
BAB IV 46
HASIL DAN ANALISA 47
4.1 Hasil Pengolahan Data SAR 47
4.1.1 Panjang Baseline dan Interval Waktu 47
4.1.2 *Reflectivity Map* 53
4.1.3 Interferogram 55
4.1.4 Koherensi Citra SAR 61
4.1.5 *APS Estimation* 63

4.1.6 Sparse Points Processing 68
4.2 Analisa Besar Penurunan Tanah Area Studi 73
4.2.1 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR 73
4.2.2 Sebaran Titik PS Citra Sentinel-1A 77
4.2.3 Analisis Terhadap Kondisi Geologi 81
BAB V 88
KESIMPULAN DAN ANALISIS 89
5.1 Kesimpulan 89
5.2 Saran 90
DAFTAR PUSTAKA 91

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Zonasi fisiografi regional Pulau Jawa bagian tengah dan timur (pembagian mengikuti Pannekoek, 1949; van Bemmelen, 1949). Sumber: Husein, 2016.....9
Gambar 2. 2 Stratigrafi Zona Rembang (Sumber: Pringgoprawiro, 1983).....12
Gambar 2. 3 Geometri PS-InSAR (TRE, 2011 dalam Prasetyo dan Subiyanto, 2014) 17
Gambar 2. 4 Sentinel-1 Products Mode (ESA, 2016) 22
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian 29
Gambar 3. 2. Cakupan Citra ALOS-PALSAR dan Sentinel-1A.30
Gambar 3. 3. InSAR Parameter 42
Gambar 4. 1. Plot Baseline Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 48
Gambar 4. 2. Plot Baseline Citra ALOS-PALSAR Orbit 429 48
Gambar 4. 3. Plot Baseline Citra Sentinel-1A.....49
Gambar 4. 4 Reflectivity Map ALOS PALSAR Orbit 428.....53
Gambar 4. 5 Reflectivity Map ALOS PALSAR Orbit 429.....54
Gambar 4. 6 Reflectivity Map Sentinel-1A.....54
Gambar 4. 7 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 04 Desember 2014; (b) fase 24 September 2016 - 22 Maret 2015; (c) fase 24 September 2016 – 02 Juni 2015; (d) fase 24 September 2016 – 06 September 2015; (e) fase 24 September 2016 – 11 Desember 2015; (f) fase 24 September 2016 – 9 April 2016 56
Gambar 4. 8 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 7 Agustus 2016; (b) fase 24 September 2016 – 5 Desember 2016; (c) fase 24 September 2016 – 4 April 2017; (d) fase 24 September 2016 – 3 Juni 2017; (e) fase 24 September

2016 – 7 September 2017; (f) fase 24 September 2016 – 12 Desember 2017 57
Gambar 4. 9 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 18 Maret 2018; (b) fase 24 September 2016 – 10 Juni 2018; (c) fase 24 September 2016 – 2 September 2018; (d) fase 24 September 2016 – 7 Desember 2018; (e) fase 24 September 2016 – 13 Maret 2019; (f) fase 24 September 2016 – 5 Juni 2019 58
Gambar 4. 10 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 21 September 2019; (b) fase 24 September 2016 – 2 Desember 2019 58
Gambar 4. 11 Citra Interferogram ALOS PALSAR Orbit 428 (a) fase 21 Juli 2008 – 19 Juli 2007; (b) fase 21 Juli 2008 – 3 September 2007; (c) fase 21 Juli 2008 – 19 Oktober 2007; (d) fase 21 Juli 2008 – 5 September 2008; (e) fase 21 Juli 2008 – 21 Oktober 2008; (f) fase 21 Juli 2008 – 24 Juli 2009; (g) fase 21 Juli 2008 – 8 September 2009 60
Gambar 4. 12 Citra Interferogram ALOS PALSAR Orbit 429 (a) fase 7 Agustus 2008 – 20 Juni 2007; (b) fase 7 Agustus 2008 – 5 Agustus 2007; (c) fase 7 Agustus 2008 – 20 September 2007; (d) fase 7 Agustus 2008 – 7 Mei 2008; (e) fase 7 Agustus 2008 – 22 Juni 2008; (f) fase 7 Agustus 2008 – 22 September 2008; (g) fase 7 Agustus 2008 – 25 Juni 2009; (h) fase 7 Agustus 2008 – 10 Agustus 2009 61
Gambar 4. 13 Koherensi Citra (a) ALOS-PALSAR Orbit 428; (b) ALOS-PALSAR Orbit 429; (c) Sentinel-1A 62
Gambar 4. 14 Persebaran PSC (a) Citra ALOS-PALSAR Orbit 428; (b) Citra ALOS-PALSAR Orbit 429; (c) Citra Sentinel-1A 64
Gambar 4. 15 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity ALOS-PALSAR Orbit 428 65

Gambar 4. 16 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity ALOS-PALSAR Orbit 429 66
Gambar 4. 17 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity Sentinel-1A 66
Gambar 4. 18 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada ALOS-PALSAR Orbit 428 67
Gambar 4. 19 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada ALOS-PALSAR Orbit 429 67
Gambar 4. 20 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada Sentinel-1A 67
Gambar 4. 21 Estimasi velocity Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 68
Gambar 4. 22 Estimasi Residual Height Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 69
Gambar 4. 23 Estimasi Velocity Citra ALOS-PALSAR Orbit 429 69
Gambar 4. 24 Estimasi Residual Height Citra ALOS-PALSAR Orbit 429 70
Gambar 4. 25 Estimasi Velocity Citra Sentinel-1A 70
Gambar 4. 26 Estimasi Residual Height Citra Sentinel-1A 71
Gambar 4. 27 Koherensi Temporal PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 71
Gambar 4. 28 Koherensi Temporal PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 429 72
Gambar 4. 29 Koherensi Temporal PS Citra Sentinel-1A 72
Gambar 4. 30 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 73
Gambar 4. 31 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra ALOS-PALSAR Orbit 428 74

Gambar 4. 32 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 429 75
Gambar 4. 33 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra ALOS-PALSAR Orbit 428.....76
Gambar 4. 34 Sebaran Titik PS Citra Sentinel-1A 77
Gambar 4. 35 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra Sentinel-1A.....78
Gambar 4. 36.Profil Melintang Blok A Cepu.....79
Gambar 4. 37. Profil Melintang Blok E Cepu 80
Gambar 4. 1. Produksi Minyak Blok Cepu (PT. Pertamina EP Cepu).....81
Gambar 4.39 Sesar Jawa (Irsyam dkk, 2017).....83
Gambar 4. 2 Penampakan Persebaran PS di Blok A melalui Google Earth.....84
Gambar 4. 41. Penampakan Persebaran PS di Sebelah Barat Blok E.....85
Gambar 4. 42 Penampakan Wilayah Blok D di Google Earth....85
Gambar 4. 43 Penampakan Persebaran PS di Sebelah Timur Blok E.....86

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Teknis Sensor PALSAR (JAXA, 2006)20
Tabel 2. 2 Spesifikasi Sentinel-1 (ESA, 2016).....21
Tabel 2. 3 Resolusi Akuisisi Sentinel-1 tipe SLC level 1 (ESA, 2016).....24
Tabel 3. 1 Daftar Citra ALOS-PALSAR.....31
Tabel 3. 2 Daftar Citra Sentinel-1A 32
Tabel 4. 1 Baseline Citra Sentinel-1A.....49
Tabel 4. 2 Baseline Citra ALOS PALSAR Orbit 428.....51
Tabel 4. 3 Baseline Citra ALOS PALSAR Orbit 429.....51

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena penurunan tanah sudah banyak terjadi di kota-kota besar di Indonesia, seperti Jakarta, Semarang, dan Surabaya. Wilayah-wilayah tersebut merupakan kota metropolitan dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan menjadi pusat industri. Selain itu, secara geologis, ketiga kota tersebut terletak pada lapisan tanah aluvial yang rentan sekali mengalami pergerakan.

Sejatinya terdapat banyak faktor yang menjadi penyebab terjadinya penurunan tanah. Menurut Whittaker dan Reddish (1989), proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, adanya rongga yang terdapat dalam tanah, adanya beban berat yang ada di permukaan, sedimentasi daerah cekungan, dan pengambilan bahan padat dan cair dari dalam tanah dapat menjadi pemicu terjadinya fenomena penurunan tanah. Pengambilan bahan cair dari dalam tanah dapat berupa pengambilan air tanah atau minyak bumi. Blok Cepu merupakan sebuah wilayah eksploitasi minyak dan gas bumi yang terdapat di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Saat ini operator Blok Cepu ada di bawah kendali Exxon Mobil Cepu Limited. Eksploitasi minyak bumi dilakukan dengan membangun lapangan-lapangan minyak untuk dilakukan pengeboran. Terdapat beberapa lapangan minyak di Blok Cepu yang saat ini menjadi tulang punggung produksi minyak nasional, yakni Lapangan Banyu Urip dan Lapangan Kedung Keris. Disebut menjadi tulang punggung nasional karena Blok Cepu mampu memproduksi minyak nasional hingga menyentuh 225 ribu barel per hari, mengalahkan Blok Rokan yang ada di Riau (Arvirianty, 2019). Padahal selain kedua lapangan minyak utama tersebut, masih banyak terdapat sumur-sumur kecil pengeboran

minyak bumi yang dikelola oleh BUMD Blora bersama dengan para penambang lokal.

Dengan adanya eksploitasi minyak dan gas bumi yang terjadi di Blok Cepu, perlu diselidiki adanya kemungkinan terjadinya peristiwa penurunan tanah di wilayah tersebut. Apalagi jika dilihat dari kondisi struktur geologi regionalnya, Blok Cepu terletak di wilayah Zona Rembang, Cekungan Jawa Timur Utara (Bemmelen, 1949). Zona ini telah mengalami perkembangan tektonik sedemikian rupa sehingga terbentuk regim tektonik kompresi lipatan dan sesar, dimana kedua hal tersebut merupakan faktor utama pembentukan sistem minyak bumi. Salah satu sesar dan patahan yang terdapat di Cepu yakni patahan Waru yang melintas dari Surabaya hingga Cepu (Itsmis, 2018). Patahan ini dapat berpotensi menimbulkan bencana gempa bumi dan mengakibatkan penurunan tanah.

Penurunan tanah memiliki efek yang akan muncul dalam jangka waktu yang lama. Namun jika tidak diantisipasi dari sekarang akan dapat menimbulkan kerugian yang tidak sedikit di kemudian hari. Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter lebih (Galloway dkk, 1999). Akibatnya, dapat merusak infrastruktur perkotaan sehingga kedepannya dapat menyebabkan gangguan pada lingkungan, kegiatan ekonomi, dan kehidupan sosial di wilayah tersebut (Prasetyo 2014). Oleh karena itu diperlukan suatu pengamatan dan penelitian mengenai fenomena penurunan tanah secara *time series,* salah satunya yakni dengan metode PS-InSAR. Pemilihan metode PS-InSAR digunakan karena dapat mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu dengan akurasi DEM mencapai milimeter. Metode ini juga mampu melakukan pengamatan dan penelitian pada cakupan wilayah yang luas dan dalam jangka waktu yang pendek. Dengan menerapkan metode PS-InSAR, maka diharapkan akan mendapatkan estimasi

besarnya nilai penurunan tanah di wilayah Blok Cepu diakibatkan dari kondisi-kondisi yang sudah dipaparkan di atas.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

a. Bagaimana penerapan metode PS-InSAR untuk mengetahui penurunan tanah di wilayah Blok Cepu?
b. Bagaimana nilai dan pola penurunan tanah yang terjadi di Blok Cepu dengan metode PS-InSAR?
c. Bagaimana hubungan antara penurunan tanah yang terjadi dengan kondisi struktur geologi?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

a. Daerah penelitian yakni wilayah eksploitasi minyak Blok Cepu
b. Objek dalam penelitian ini adalah penurunan tanah yang terjadi di wilayah eksploitasi minyak Blok Cepu
c. Data yang digunakan adalah citra satelit ALOS PALSAR dan Sentinel-1A
d. Perhitungan deformasi menggunakan rata-rata kecepatan/*mean velocity* per tahun

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yakni:

a. Untuk dapat mengestimasi besar penurunan tanah yang terjadi di wilayah eksploitasi minyak bumi Blok Cepu dengan metode PS-InSAR
b. Untuk melihat besaran dan pola sebaran laju penurunan tanah yang terjadi di wilayah Blok Cepu
c. Mengevaluasi hasil pengolahan data untuk mengetahui sebab terjadinya penurunan tanah yang ada di Blok Cepu

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

a. Sebagai bahan informasi untuk mitigasi, perencanaan pembangunan, dan perumusan kebijakan selanjutnya oleh pihak terkait
b. Keluaran dari pengolahan penelitian ini dapat dijadikan data pembanding untuk penelitian selanjutnya

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Blok Cepu

Blok Cepu merupakan wilayah kontrak kerja sama minyak dan gas bumi yang meliputi wilayah Kabupaten Blora-Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro-Jawa Timur. Kontrak Kerja Sama (KKS) Cepu yang ditandatangani pada 17 September 2005 mencakup wilayah kontrak Cepu di Jawa Tengah dan Jawa Timur. KKS tersebut melibatkan pihak-pihak seperti ExxonMobil Cepu Limited (EMCL), Ampolex Cepu Pte Ltd., PT Pertamina EP Cepu, dan empat Badan Usaha Milik Daerah yakni PT Sarana Patra Hulu Cepu (Jawa Tengah), PT Asri Dharma Sejahtera (Bojonegoro), PT Blora Patragas Hulu (Blora), dan PT Petrogas Jatim Utama Cendana (Jawa Timur) yang tergabung menjadi kontraktor di bawah KKS Cepu tersebut (Exxon Mobil, 2019).

Wilayah Cepu dan Bojonegoro sebenarnya sudah dijadikan ladang minyak sejak Belanda bercokol di Indonesia sekitar tahun 1870. Pada tahun 2001, berita mengejutkan dari anak perusahaan Exxon Mobil, yakni Mobil Cepu Ltd yang bekerja sama dengan Pertamina menemukan sumber minyak mentah dengan kandungan 1,478 miliar per barel dan gas mencapai 8,14 miliar kaki kubik di lapangan Banyu Urip. Ini merupakan penemuan sumber minyak paling signifikan dalam dekade terakhir. Lapangan Banyu Urip adalah sebuah lapangan dalam Blok Cepu yang terletak di Desa Mojodelik, Kecamatan Kalitidu, Kabupaten Bojonegoro, yang diprediksi mengandung 450 juta barel minyak pada tahun 2001. Lapangan ini mulai berproduksi pada tahun 2008 dengan kapasitas awal 20 ribu barel per hari dan terus meningkat sampai sekarang mencapai lebih dari 225 ribu barel per hari. Tak hanya itu, pada tahun 2011, ExxonMobil kemudian menemukan cadangan baru di Lapangan Kedung Keris yang berlokasi di Desa Sukoharjo, Kabupaten Bojonegoro, yang akan beroperasi di pada akhir tahun 2019

dengan proyeksi penambahan produksi sebesar 10 ribu bph (Arvirianty, 2019). Luas wilayah kerja pertambangan Blok Cepu adalah menjadi 919 km^2 dengan 624,64 km2 di Kabupaten Bojonegoro, 255,60 km2 di Kabupaten Blora, dan 38,95 km^2 di Kabupaten Tuban.

Selain kedua lapangan minyak utama yang dikelola ExxonMobil di atas, masih banyak lapangan-lapangan minyak dalam skala yang lebih kecil yang tersebar di seluruh Kabupaten Blora yang sudah beroperasi dari dulu namun berada di bawah pengelolaan PT Pertamina EP, seperti Blok Temetes, Blok Kluwih, Blok Petak, Blok Kedinding, Blok Banyubang, Blok Semanggi, dan Blok Ledok. Namun, hanya Blok Kedinding, Banyubang, dan Ledok yang masih berproduksi hingga sekarang. Selain itu, dibawah pengelolaan BUMD PT Blora Patra Energi (PBE), sekitar 133 sumur berproduksi dari 267 sumur minyak tua di daerah Blora. 267 sumur minyak tua tersebut tersebar di Lapangan Ledok dan Lapangan Semanggi. Di Lapangan Ledok terdapat 127 titik sumur dari 196 titik yang berproduksi. Sedangkan di Lapangan Semanggi terdapat 6 titik dari 71 titik yang berproduksi (Sampurno, 2019). Dengan banyaknya sumber minyak seperti yang telah disebutkan di atas, maka tak heran jika saat ini Blok Cepu didaulat sebagai andalan utama *lifting* minyak nasional menggeser Blok Rokan di Riau yang hanya memproduksi rata-rata 190 ribu bph. Meski demikian, keduanya tetap merupakan tumpuan produksi dan *lifting* minyak nasional (Arvirianty, 2019).

2.2 Penurunan Tanah

Fenomena penurunan tanah sudah banyak terjadi di beberapa kota-kota besar di Indonesia, seperti Semarang (Kuehn, 2009), Malang (Sudiana, 2014), Surabaya (Aditya, 2017), dan Jakarta (Abidin, 2005). Penurunan muka tanah merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya (Marfai, 2006). Penurunan

tanah dapat terjadi baik secara lokal maupun regional. Kondisi tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor penyebab, antara lain sebagai berikut (Whittaker and Reddish, 1989):

a. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah, dan sebagainya
b. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cari dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi
c. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat diatasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kopaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering disebut juga dengan *settlement.*
d. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas pembangunan).

Besar nilai penurunan muka tanah dapat dihitung secara berkala atau periodik dengan memanfaatkan teknologi radar. Perhitungan secara berkala dilakukan untuk mengetahui besar nilai rata-rata penurunan muka tanah pada daerah penelitian. Selain itu, besaran nilai tersebut dapat dijadikan sebagai prediksi akan terjadinya fenomena penurunan muka tanah yang disebabkan oleh beberapa faktor alam dan non-alam. Selanjutnya dapat dilakukan pengelolaan dampak dan mitigasi penurunan muka tanah yang terjadi di daerah penelitian (Ulin, 2018).

2.3 Geologi Regional

Cekungan sedimen adalah bagian dari kerak bumi yang dapat berperan sebagai akumulasi lapisan-lapisan sedimen yang relatif lebih tebal dari sekitarnya, dimana akumulasi batuan sedimen ini dapat berperan sebagai tempat pembentukan dan akumulasi minyak dan gas bumi (Zuhelmi, 2017). Wilayah Blok Cepu secara geologis berada pada cekungan sedimen jawa timur ini. Cekungan ini merupakan zona lemah akibat tumbukan lempeng Hindia Australia yang bergerak ke arah utara terhadap

lempeng Sunda yang dicirikan oleh anomali rendah di daerah tumbukan dan anomali tinggi di daerah pegunungan selatan Jawa. Pertemuan kedua lempeng tersebut yang bersifat tumbukan melibatkan kerak samudera lempeng Hindia dan kerak benua dari lempeng Sunda yang membentuk sistem busur kepulauan "*Sunda Arc System.* Cekungan yang terbentuk di Jawa Timur terbagi menjadi 3 mandala struktur masing-masing dari utara ke selatan adalah: Paparan Utara (*Northern Platform),* Tinggian Tengah (Central High), dan Cekungan Selatan (Southern Basin). Paparan Utara tersusun oleh Busur Bawean dan Paparan Madura. Tinggian Tengah terdiri dari Tinggian Kujung, Madura, Kangean, dan Lombok, sedangkan di Selatan dibagi dalam beberapa zona yakni Zona Rembang, Zona Randublatung, dan Zona Kendeng (Panjaitan, 2010).

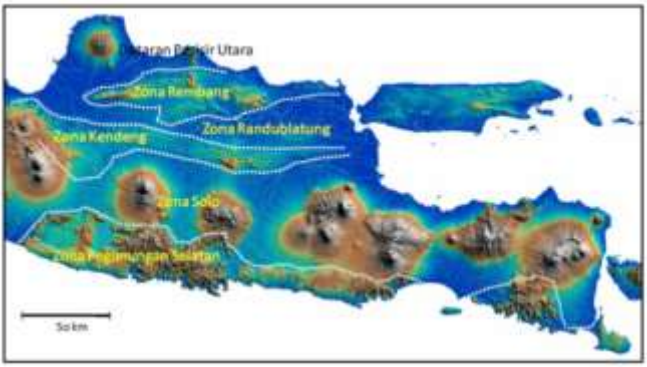
Van Bemmelen (1949) membagi Jawa Timur menjadi beberapa zona dan subzona fisiografi, yaitu:

a. **Zona Pegunungan Utara**, terdiri dari Gunung Muria yang tersusun atas batuan *leucite*, Gunung Lasem, dan Gunung Buak dengan batuan penyusun *andesitik*.
b. **Zona Perbukitan Rembang-Madura,** merupakan daerah antiklinorium Rembang Utara dan Cepu yang berada di bagian selatannya, dengan arah memanjang dari barat ke timur. Kedua antiklinorium ini dipisahkan oleh Depresi Blora-Kening. Zona ini sejajar dengan Zona Kendeng dan dipisahkan oleh Depresi Randublatung. Zona ini tersusun atas endapan pasir dan kerikil. Dilihat dari letaknya, lokasi penelitian termasuk ke dalam Zona Rembang-Madura.
c. **Zona Depresi Randublatung,** merupakan zona depresi fisiografi maupun tektonik yang membentang antara Zona Kendeng dan Rembang. Zona ini merupakan suatu depresi atau lembah memanjang yang berada di antara perbukitan Kendeng dan Perbukitan Rembang. Zona ini mencakup daerah Purwodadi, Cepu, Bojonegoro, Lamongan, Gresik, dan Surabaya.

d. **Zona Kendeng,** merupakan antiklinorium dengan panjang 250 kilometer, dengan lebar kuranglebih 20 kilometer dan ketinggiannya kurang lebih 500 meter. Zona ini membentang dari Gunung Ungaran ke arah timur sampai ke daerah Mojokerto, bahkan dapat ditelusuri hingga Madura. Di dekat Ngawi zona ini terpotong oleh Sungai Solo yang mengalir dari selatan ke utara. Zona Kendeng dibagi menjadi beberapa wilayah, yakni Kendeng Barat mencakup daerah yang berbatasan dengan Gunung Ungaran di sebelah barat hingga daerah sekitar Purwodadi, Kendeng Tengah mencakup daerah Purwodadi hingga Gunung Pandan, dan Kendeng Timur mencakup daerah Gunung Pandan hingga Mojokerto.

e. **Zona Solo,** merupakan suatu depresi yang secara tektonik dan fisiografi serupa dengan Zona Bandung Jawa Barat. Batuan alluvial mengisi zona ini mulai dari Delta Brantas sampai Sragen dan Ngawi hingga Jombang.

f. **Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur¸** merupakan suatu blok yang telah terangkat dan tererosi dengan lebar 55 kilometer. Bagian timur terisi oleh batu gampjng, sedangkan bagian utara terisi oleh sedimen vulkanik.



Gambar 2. 1 Zonasi fisiografi regional Pulau Jawa bagian tengah dan timur (pembagian mengikuti Pannekoek, 1949; van Bemmelen, 1949). Sumber: Husein, 2016

2.4 Kondisi Geologi Blok Cepu

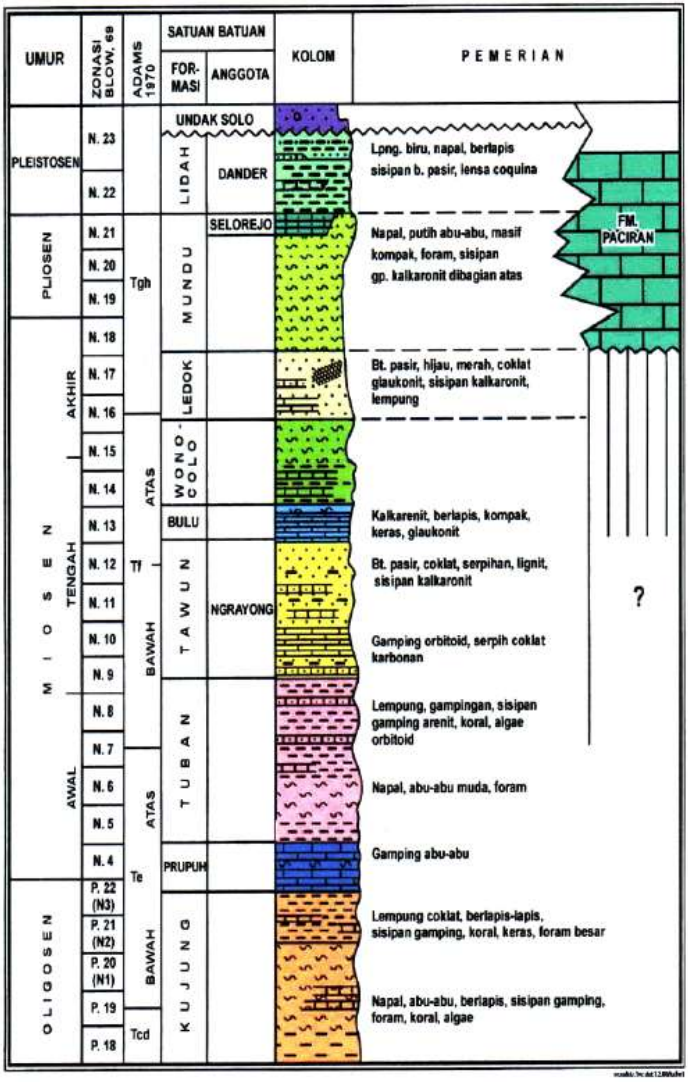
Blok Cepu terletak pada peta geologi lembar Bojonegoro, Jatirogo, Ngawi, dan Rembang dengan nomor index peta berturut turut yakni 1508-5, 1509-2, 1508-4, dan 1509-1. Secara geologis berdasarkan peta tersebut Blok Cepu terbentuk di atas beberapa formasi batuan. Mulai dari Formasi Wonocolo, Formasi Tambakromo, Formasi Selorejo, Formasi Ngrayong, Formasi Mundu, Formasi Lidah, Formasi Ledok, Formasi Bulu, dan Lapisan Aluvial yang terletak pada geologi Zona Rembang.

Formasi Wonocolo memiliki batuan yang dicirikan dari jenis napal dan batugamping dengan tebal satuan 100-300m. Formasi ini menindih tak selaras dengan Formasi Ngrayong. Formasi Ngrayong terdiri dari batulempung pasiran, batupasir kuarsa, napal, dan batugamping. Bagian bawah perselingan batulempung pasiran dengan napal pasiran. Bagian tengah batupasir kuarsa bersisipan dengan batulempung pasiran. Pada bagian atas batu gamping bersisipan dengan napal. Batuan tersebut memiliki tebal 100-300m (Datun dkk, 1996).

Formasi Tambakromo bercirikan batulempung, napal, dan batugamping. Formasi ini memiliki tebal 350m dan menindih selaras dengan Formasi Selorejo. Formasi selorejo bercirikan batugamping putih kecokelatan, berlapis dengan ketebalan 25-60 cm. Formasi ini memiliki satuan kekebalan 200 m dan menindih selaras dengan Formasi Mundu. Formasi Mundu bercirikan napal berwarna kelabu-kuning kecokelatan, tidak begitu keras dan tidak berlapis. Formasi ini memiliki ketebalan 100-250m dan menindih selaras dengan Formasi Ledok (Datun dkk, 1996).

Formasi Ledok bercirikan perselingan kalkarenit, batu pasir, dan napal. Formasi ini menindih selaras dengan Formasi Wonocolo (Datun dkk, 1996). Formasi Bulu berada selaras dengan Formasi Ngrayong yang terdiri dari perselingan antara batugamping dengan kalkarenit. Terkadang juga dijumpai sisipan batu lempung. Formasi Lidah bercirikan batulempung, bersisipan dengan batupasir dan batugamping. Sedangkan lapisan aluvium bercirikan lempung, pasir, dan kerikil (Pringgoprawiro dan

Sukido, 1992). Lapisan ini terendapkan sepanjang Sungai Lusi, Sungai Madiun, Sungai Wulung, dan Sungai Bengawan Solo (Datun dkk, 1996). Lapisan aluvium adalah lapisan yang masih berumur muda (sekitar 10.000 tahun) yang memiliki derajat kompaksi rendah sehingga masih memungkinkan mengalami pemadatan dan rentang mengalami penurunan tanah.



Gambar 2. 2 Stratigrafi Zona Rembang (Sumber: Pringgoprawiro, 1983)

2.5 InSAR

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) adalah teknik penginderaan jauh yang menggunakan gelombang mikro yang membutuhkan minimal dua atau lebih citra SAR yang diakuisisi pada waktu yang berbeda untuk menghasilkan citra interferogram untuk mendeteksi perubahan permukaan pada area tertentu (Aditya, 2017). SAR merupakan salah satu sistem penginderaan jauh non-optik yang bersifat aktif yang menggunakan gelombang mikro sehingga dapat bekerja pada siang maupun malam hari. Pada dua dekade terakhir, teknik InSAR telah banyak digunakan untuk mengestimasi fenomena deformasi dalam studi geodinamika. InSAR merupakan metode yang dapat diterapkan untuk mengukur perpindahan dan perubahan elevasi dari bentang alam menggunakan perbedaan fase antara dua waktu akuisisi citra RADAR (Gutierrez dkk, 2011). Fase pada interferogram mengandung beberapa kontribusi yang berasal dari beberapa sumber yang secara mudah diformulasikan berikut (Hanssen, 2001):

$$\phi_{int} = \phi_{topo} + \phi_{defo} + \phi_{orb} + \phi_{atm} + \phi_{noise} \qquad 2.1$$

Dimana ϕ_{int} adalah fase interferometric, ϕ_{topo} adalah fase topografik, ϕ_{defo} adalah fase akibat deformasi dalam Line of Sight (LOS), ϕ_{orb} adalah fase akibat *shift* atau perpindahan lintasan orbit antara dua akuisisi SAR menggunakan informasi ketepatan orbit yang biasanya digunakan sebagai parameter utama ketika menghitung jarak orbit (Zhou dkk, 2009), ϕ_{atm} adalah fase atmosferik, dan ϕ_{noise} adalah fase akibat faktor-faktor degradasi, seperti akibat dari *thermal noise, corregistration noise,* dan *interpolation noise.* Menurut Hanssen (2001) cara untuk mendapatkan efek *land subsidence* yaitu melakukan deferensial pada interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi, noise, serta atmosfer. Karena yang dibutuhkan hanya nilai fase deformasi, maka kontribusi lain selain fase deformasi sebaiknya dihilangkan. Perbedaan fase yang muncul dalam citra

interferogram adalah perbedaan fase dari sinyal LOS (*Line of Sight*) yang dapat diformulasikan sebagai berikut (Veci, 2016)

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \qquad 2.2$$

Dimana $\phi_1\ dan\ \phi_2$ adalah fase pada citra pertama dan citra kedua. λ adalah panjang gelombang yang digunakan, serta ΔR adalah perbedaan jarak objek terhadap sensor pada citra pertama dan kedua

2.6 DInSAR

Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) merupakan teknologi lanjutan dari InSAR. DInSAR adalah teknologi geodesi yang digunakan untuk pengamatan deformasi muka tanah dengan ketelitian hingga sentimeter (Muthma'innah, 2016). Sehingga untuk mendapatkan efek deformasi harus dilakukan metode *differential interferomtery* atau dengan mendeferensialkan 2 interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi dengan cara menggunakan data DEM. Hal inilah yang membedakan antara metode DInSAR dengan metode InSAR konvensional. Metode DInSAR terbagi dalam tiga jenis, menurut Hansenn (2001):

a. Metode *Two-Pass Interferometry*
   Metode ini menggunakan model elevasi (*DEM*) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, diskalakan menggunakan *baseline* [Massonet, 1998]. Kesalahan yang terdapat pada data DEM ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan differensial InSAR. Dengan kata lain, semakin baik kualitas DEM yang digunakan, maka semakin baik pula citra differensial InSAR yang dihasilkan.
b. Metode *Three-Pass Interferometry*
   Dalam hal ini, citra SAR yang digunakan berjumlah 3 buah, dengan dua data SAR memiliki jeda waktu pengamatan yang relatif pendek, dan pengamatan kedua waktunya terpisah lebih panjang.
c. Metode *Four-Pass Interferometry*

Teknik ini dapat dilakukan manakala *baseline* untuk dua pasang data tidak memungkinkan, atau tidak tersedia DEM pada area penelitian. Dengan menggunakan metode *topographic pair* dan *deformation pair* bersifat independen [Hanssen,2001].

Untuk dapat menghapus efek topografi dilakukan dengan rumus (Veci, 2016):

$$-\frac{\Delta q}{\sin\theta} \cdot \frac{B_n}{R} \cdot \frac{4\pi}{\lambda} \tag{2.3}$$

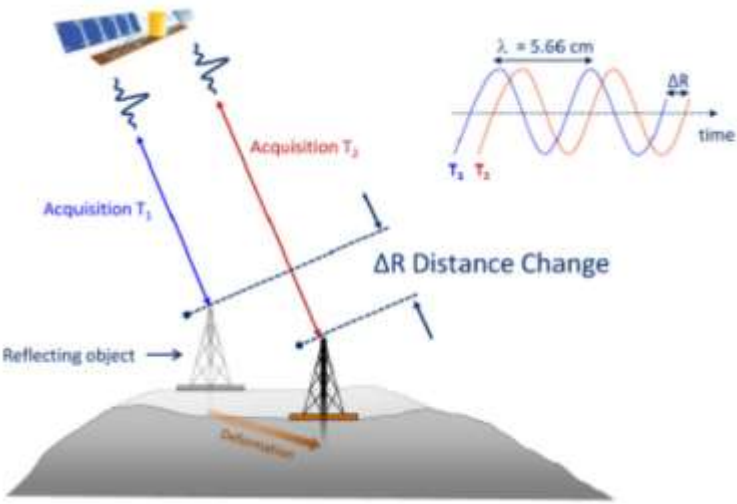
Pada proses DInSAR, dilakukan proses *phase unwrapping* dimana proses ini dilakukan untuk mengubah fase relatif menjadi fase absolut. Keterbatasan panjang gelombang secara temporal dan/atau spasial dapat mempengaruhi sinyal sehingga citra interferogram hanya terletak dalam modulo 2π(-π hingga π). Setelah dilakukan proses phase unwrapping, akan didapatkan nilai fase yang tidak hanya terletak dalam modulo 2π. Dari proses phase unerapping akan didapatkan nilai phase pergeseran dalam satuan radian yang kemudian diubah menjadi nilai LOS Displacement dalam satuan metrik sesuai dengan persamaan 2.9 (Yulyta, Taufik, dan Hayati 2015).

2.7 PS-InSAR

Metode PS-InSAR pertama kali dikemukakan dalam jurnal penelitian berjudul *Permanent Scatterers in SAR Interferometry* (Ferreti dkk., 1999) pada International Geosicence and Remote Sensing Symposium, 28 Juni – 2 Juli 1999 di Hamburg, Jerman. Penelitian ini memunculkan konsep penelitian *single coherent pixels* yang kemudian didefinisikan sebagai *Permanent Scatterers* (PS), menggunakan pasangan citra SAR dalam jumlah besar untuk mendapatkan akurasi DEM dalam orde sub-sentimeter serta nilai pergerakan permukaan pada area berkoherensi rendah 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, 2014). Kelebihan dari metode PS-InSAR adalah mampu menghapuskan kontribusi dari fase atmosferik yang tidak bisa dihapuskan jika menggunakan metode InSAR ataupun DInSAR. *Permanent Scatterer Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) adalah teknik geodesi mutakhir yang dapat digunakan untuk membuat kumpulan data spasial yang terperinci dari tingkat deformasi permukaan pada cakupan area (~100 x 100 km) (Ferreti dkk, 2003).

Pada metode PS-InSAR semua citra dipasangkan terhadap satu master, sehingga didapatkan sejumlah pasangan interferogram yang mengacu pada citra master. Selanjutnya piksel-piksel pada tiap interferogram diamati dan dianalisis untuk melihat hubungan antara variasi amplitudo dan fase terhadap ruang dan waktu (Highighi dan Motagh, 2017). Prinsip utama dari teknik PS-InSAR yakni dengan memanfaatkan data pengamatan citra SAR multitemporal dalam rentang waktu panjang untuk mendeteksi titik-titik potensial koherensi. Titik-titik PS pada umumnya berupa objek-objek solid di permukaan bumi yang menjadi pemantul alami yang relatif koheren terhadap dimensi waktu. Sebaran titik-titik PS dan perbedaan nilai fase untuk setiap individu titik yang dianalisis lebih lanjut menggunakan metode PS-InSAR. Sehingga secara teknis nilai pergeseran dari titik-titik PS dapat diestimasi melalui korelasi beda fasenya terhadap waktu (Prasetyo dan Subiyanto, 2014)



Gambar 2. 3 Geometri PS-InSAR (TRE, 2011 dalam Prasetyo dan Subiyanto, 2014)

Menurut Farova dkk (2019), pemilihan titik PS didasarkan pada kestabilan amplitudo yang ditunjukkan dengan nilai *Amplitude Stability Index* (ASI)

$$ASI = 1 - D_A = 1 - \frac{\sigma_A}{\mu_A} \quad (2.4)$$

Dimana D_A merepresentasikan dispersi amplitudo, σ_A adalah standard deviasi nilai amplitudo, dan μ_A adalah rata-rata amplitudo. Piksel yang dipilih adalah yang memiliki nilai ASI dengan batas ambang tertentu.

Teknik ini berbeda dengan teknik InSAR konvensional karena menggunakan informasi dari sifat tanah biasanya, bangunan atau struktur buatan manusia lainnya, namun juga sifat alami seperti singkapan batu yang dapat bertindak sebagai reflektor permanen radiasi radar. Hal ini dapat diidentifikasi bahkan ketika dikelilingi oleh vegetasi, memungkinkan peningkatan yang substansial dalam cakupan di area yang kurang

sesui dengan metode InSAR konvensional. Manfaat lebih lanjut dari PS-InSAR adalah kemampuan untuk mengurangi sumber *noise* menggunakan *spatial* dan temporal *filtering*. PS-InSAR memiliki tingkat ketelitian pengukuran hingga satuan milimeter per tahunnya serta mampu untuk memonitor pergerakan secara kontinyu. Metode ini mampu melakukan pengamatan dan penelitian pada daerah yang luas dengan waktu yang cepat dibandingkan dengan pengamatan menggunakan metode terestris (Ulin, 2018)

Proses PS-InSAR dimulai dengan mengindentifikasi semua titik-titik PS dan menganalisis deformasi 2D pada titik-titik ini yang dapat menghilangkan kelemahan utama dari metode DInSAR (Sudiana, 2014). Saat ini, algoritma PS-InSAR telah banyak diimplementasikan dengan berbagai variasi yang berbeda dan yang paling terkenal adalah *The Stanford Method for PS* (StaMPS) *package, the DePSI system from the Deflt University, Permanent ScatterersTM of the TeleRilevamento Europe (TRE), the Interferometric Point Target Analysis of GAMMA, the GENESIS-PSI of the DLR (German Aerospace Center), the Spatio-Temporal Unwrapping Network* (Bouraoui, 2013).

2.8 ALOS-PALSAR-1

ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) adalah sebuah satelit penginderaan jauh yang diutamakan untuk pengamatan daratan dengan menggunakan teknologi terdepan dan diprogramkan untuk meneruskan dan meningkatkan fungsi satelit JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite-1*) dan satelit ADEOS (*Advanced Earth Observing Satellite*). Satelit ALOS dilengkapi dengan tiga buah sensor inderaja, terdiri dari dua sensor optik yakni sensor PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*) dan sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2*) serta sebuah sensor radar yaitu PALSAR (*Phased Array type L-Band Syntetic Aperture Radar*). Satelit ALOS diluncurkan pada 24 Januari 2006 dari lokasi peluncuran *Tanegashima Space Center* di Jepang (JAXA, 2006).

Menurut Osawa (2005), PALSAR adalah suatu sensor gelombang-mikro aktif pada L-band yang dikembangkan oleh JAXA bekerja sama dengan JAROS (*Japan Resources Observation Systems Organization*). Sensor PALSAR mempunyai suatu kemampuan *off-nadir* yang variabel antara 10-51° (sudut datang 8-60°) dengan menggunakan teknik *phased array* aktif dengan 80 modul-modul untuk mentransmisikan/penerimaan. PALSAR merupakan peningkatan dari SAR-JERS-1 (polarisasi HH, sudut *off nadir* 35°, juga beroperasi pada L-band). PALSAR adalah suatu instrumen yang secara penuh polarimetrik, bekerja dengan salah satu dari mode berikut: polarisasi tunggal (HH atau W), polarisasi rangkap dua (HH+HV atau W+VH) atau polarimetrik penuh. Pada mode polarisasi, lebar liputan satuan citra adalah 30 km dengan resolusi spasial 30m. Tiga mode operasi utama dari PALSAR yakni:

a. Mode *Fine*, yaitu mode resolusi tinggi dengan resolusi spasial 10m dan mode operasi yang umum untuk observasi interferometrik dengan lebar liputan satuan citra 70 km dalam polarisasi tunggal HH atau W (mode *Fine Beam Single)*. Mode *Fine* juga dilengkapi dengan polarisasi HH+HV atau W+VH (mode *Fine Beam Dual)*
b. Mode *ScanSAR*, yaitu mode yang memungkinkan untuk memperoleh citra dengan lebar liputan satuan citra sampai dengan 350 km dengan polarisasi tunggal HH atau W dan resolusi spasial 100m di dalam arah azimuth dan *range*
c. Mode Polarimetrik (*Fine Beam Polarimetri*) yaitu mode yang dioperasikan pada basis eksperimental, dalam polarisasi HH+ W+ HV+VH.

Tabel berikut menunjukkan karakteristik teknis sensor dan data citra PALSAR serta mode observasi *default* PALSAR

Tabel 2. 1 Karakteristik Teknis Sensor PALSAR (JAXA, 2006)

Mode operasi	***Fine Beam Single* (FBS)**	***Fine Beam Dual* (FBD)**	***ScanSAR***	**Polarimetrik**
Chirp Bandwith	28 MHz	14 MHz	14 MHz, 28 MHz	14 MHz
Polarisasi	HH, W	HH+HV, W+VH	HH, W	HH+W+HV +VH
Sudut datang	8-60°	8-60°	18-43°	8-30°
Resolusi spasial *range*	7-44 m	14-88 m	100 m (*multilook)*	24-89 m
Lebar liputan satuan citra dari pengamatan	40-70 km	40-70 km	250-350 km	20-65 km
Panjang bit	5 bit	5 bit	5 bit	3/5 bit
Kecepatan data	240 Mbps	240 Mbps	120 Mbps, 240 Mbps	240 Mbps
Akurasi radiometrik	Citra (*scene*): 1 dB/ orbit: 1,5 dB			
Frekuensi pusat	L band (1270 MHz)			

Produk data ALOS PALSAR terbagi menjadi level 1.0, level 1.1, dan level 1.5. Data PALSAR akan efektif untuk berbagai aplikasi seperti kreasi DEM, pembentukan *interferometry* dari pergerakan lahan, biomassa hutan, pemantauan kebakaran hutan, pertanian, pemantauan polusi minyak, pemantauan banjir, kelembaban tanah, dan pemantauan kapal (NASDA, 2005).

2.9 Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan satelit penginderaan jauh radar yang dimiliki oleh European Space Agency (ESA) yang merupakan satelit seri pertama dari tujuh misi satelit yang akan diluncurkan dari program Copernicus. Copernicus adalah program lanjutan dari GMES (Global Monitoring for

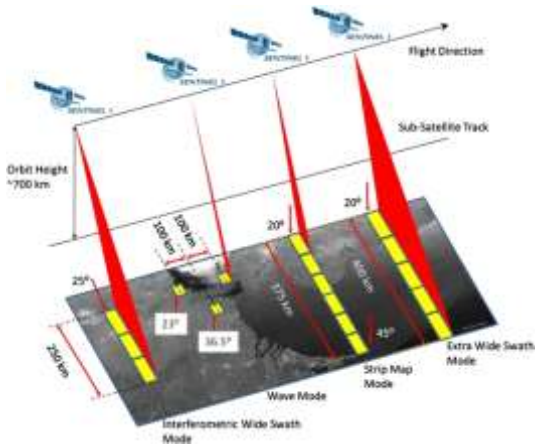
Environment and Security), yakni program observasi bumi yang digagas oleh European Commision (EC) dan European Space Agency (ESA). Program observasi ini memiliki tujuan menyediakan informasi yang akurat, tepat waktu, dan mudah akses untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan, memahami dan mengurangi dampak perubahan iklim dan menjamin keamanan sipil (ESA, 2016). Sentinel-1 adalah sebuah misi SAR yang menyediakan data secara kontinyu pada berbagai cuaca, mengindera siang dan malam pada band-C dengan frekuensi pusat 5,405 GHz (ESA, 2015). Citra satelit Sentinel-1 terdiri dari konstelasi dua satelit, Sentinel-1A dan Sentinel-1B yang berbagi bidang orbit yang sama dengan perbedaan 180° pada pentahapan orbital (ESA, 2013). Berikut spesifikasi dari Sentinel-1

Tabel 2. 2 Spesifikasi Sentinel-1 (ESA, 2012)

Spesification	***Details***
Lifetime	*7 years (consumables for 12 years)*
Orbit	*Near-polar Sun-synchronous orbit at 693 km altitude, 12-day repeat cycle;175 orbits per cyle*
Mean local solar time	*18:00 at ascending node*
Orbital period	*98,6 min*
Maximun eclipse duration	*19 min*
Attitude stabilisation	*3-axis stabilised*
Attitude accuracy	*0,01° (each axis)*
Instrument	*Ringht looking with respect to the flight direction*
Steering	*Zero doppler yaw steering and roll steering (-0,8° to +0,8°)*
Atiitude profile	*Geocentric and geodetic*
Orbit knowledge	*10m (each axis, 3σ) using*

Spesification	***Details***
	GPS
Operative autonomy	*96h*
Launch mass	*2300 kg (including 130 kg monopropellant fuel)*
Dimension (stowed)	*3900 x 2600 x 2500 mm*
Solar array average power	*5900 W (end-of-life)*
Battery capacity	*324 Ah*
Satellite availability	*0,988*
S-band TT&C data rates	*64 kbit/s telecommand;128 kbit/s – 2 Mbit/s telemetry (programmable)*
X-band downlink data rate	*2 x 260 Mbit/s*
Launcher	*Soyuz from Kourou*

Sentinel-1 memiliki beberapa standar mode operasional yang dibagi menjadi 4 mode yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya.



Gambar 2. 4 Sentinel-1 Products Mode (ESA, 2016)

Mode-mode tersebut yakni mode Strip Map (SM) yang memiliki lebar swath 80 km dan resolusi spasial 5x5 m, mode Interferometric Wide Swath Mode (IW) dengan resolusi 5m x 20m dengan lebar wilayah sebesar 250km, Extra Wide Swath Mode (EW) dengan resolusi 20m x 40m, dan mode Wave Mode, low data rate (WV) yang memiliki resolusi sebesar 5m x 5m (ESA, 2013).

Sentinel-1 memiliki beberapa macam polarisasi. Untuk *wave mode* memiliki tipe polarisasi single, yakni VV atau HH. Sedang untuk mode lain memiliki polarisasi dual yakni VV+VH atau HH+HV. Sentinel memiliki beberapa macam produk, yakni level-0, level 1 SLC, level 1 GRD, dan level 2 Ocean. Untuk setiap mode tersedia dalam setiap produk-produk tersebut. Produk level 0 terdiri dari data mentah SAR dari urutan *Flexible Dynamic Block Adaptive Quantization (*FDBAQ) yang sudah terkompresi. Pada produk level 1, tersedia dalam dua macam yakni tipe SLC (*Single Look* Complex) dan tipe GRD (*Ground Range Detected*). Produk level 1 tipe SLC terdiri dari data SAR yang sudah ter georeferensi disertai data ketinggian serta mengandung informasi fase. Produk level 1 tipe GRD yang sudah di proyeksikan ke model ellipsoid bumi dan tidak mengandung informasi fase. Produk GRD memiliki tiga macam resolusi, yakni *Full Resolution* (FR), *High Resolution* (HR), dan *Medium Resolution* (MR). Resolusi tinggi dan menengah tersedia untuk mode IW dan ew, resolusi menengah untuk mode WV, dan resolusi tinggi dan resolusi penuh untuk mode SM. Sedangkan untuk level 2 OCN, terdiri dari komponen yang disebut *Ocean Swell Spectra (*OSW) yang memiliki kontinuitas dengan ERS dan ASAR dan terdapat dua komponen baru pada produk ini yakni *Ocean Wind Fields* (OWI) dan *Surface Radial Velocities* (RVL). OSW adalah spektrum gelombang permukaan laut dua dimensi yang mencakup informasi mengenai perkiraan kecepatan angin dan arah spektrum gelombang. OSW dihasilkan dari mode Stripmap dan Wave mode. OWI adalah perkiraan jarak tempuh dari permukaan tanah dan arah kecepatan angin dari 10m di atas permukaan tanah yang

diturunkan dari citra level 1 GRD pada mode SM, IW atau EW. Sedangkan RVL adalah perbedaan rentang jarak dari permukaan tanah antara grid Level-2 Doppler dan level-1 Doppler yang sudah terhitung geometris. Ketelitian untuk akurasi dari pengamatan menggunakan Sentinel-1 bergantung dari jenis mode pengamatan data. Selengkapnya dalam tabel di bawah, khusus untuk tipe SLC.

Tabel 2. 3 Resolusi Akuisisi Sentinel-1 tipe SLC level 1 (ESA, 2016)

Mode	**Resolusi (*range x azimuth)***	***Pixel spacing (range x azimuth)***	***Number of Looks***
SM	1,7 x 4,3 m – 3,6 x 4,9 m	1,5 x 3,6 m to 3,1 x 4,1 m	1x1
IW	2,7 x 22 m to 3,5 x 22 m	2,3 x 17,4 m	1x1
EW	7,9 x 43 m to 15 x 43 m	5,9 x 34,7 m	1x1
WV	2,0 x 4,8 m and 3,1 x 4,8 m	1,7 x 4,1 m and 2,7 x 4,1 m	1x1

2.10 SARProz

SARProz adalah sebuah software open source yang didesain oleh Daniele Perissin, seorang ahli dalam bidang SAR dan remote sensing. SARProz adalah perangkat lunak yang serbaguna yang mengimplementasikan pengolahan teknik Synthetic Aperture Radar (SAR), Interferometric SAR (InSAR), dan Multi-Temporal InSAR. Perangkat lunak ini memiliki tampilan antar-muka yang *user-friendly* (Perissin, 2015). Perangkat lunak ini berbasiskan MatLab dan dapat dijalankan pada berbagai sistem operasi komputer. SARProz mampu mengolah berbagai macam data citra radar seperti ERS-1 dan

ERS-2, Envisat, Sentinel-1A/1B, Cosmo SkyMed, TerraSAR-X, Tandem-X, RadarSAT 1 dan 2, ALOS 1 dan 2, Kompsat-5, dan Gaofen-3.

2.11 Penelitian Terdahulu

Sebelumnya telah dilakukan beberapa kali penelitian mengenai penurunan tanah di wilayah eksploitasi minyak dan gas. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Fielding dkk (1998) yang berjudul "*Rapid Subsidence Over Oil Fields Measured by SAR Interferometry".* Mereka menggunakan data citra satelit ERS-1 dan ERS-2 untuk mengamati penurunan tanah di lapangan minyak Lost Hills dan Belridge, San Joaquin Valley, California. Citra interferogram terbentuk dari pasangan citra yang memiliki selisih waktu mulai dari satu hari hingga 26 bulan dari mode akuisisi ascending maupun descending. Dilakukan koreksi fase pada citra interferogram yang disebabkan oleh perbedaan orbit dan kelengkungan bumi. Namun citra tersebut tidak dikoreksi fase topografik dikarenakan elevasi dari Lost Hills yang kurang dari 30 m dan dapat diabaikan. Koreksi pergerakan permukaan yang disebabkan oleh keterlambatan propagasi sinyal radar sulit dilakukan karena minimnya pengetahuan mengenai kondisi atmosferik pada pixel radar. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada wilayah lapangan minyak di wilayah pusat California tersebut terjadi *subsidence* atau penurunan tanah yang sangat rapat hingga 400 mm per tahun atau lebih dari 1 mm per hari. Hasil menunjukkan terjadi pemadatan dari 1,7 mm per hari di pusat cekungan penurunan tanah lalu menurun hingga 0,6 mm per hari di wilayah selatan cekungan. Pengamatan menggunakan teknik interferometri pada wilayah lapangan minyak dapat menyediakan informasi mengenai respon reservoir dan lapisan batuan di atasnya sebagai bahan untuk penyusunan strategi ekstraksi minyak bumi kedepannya.

Penelitian lain yang dilakukan oleh He Sun dkk yakni mengenai monitoring penurunan tanah di dataran rendah Liahoe, China dengan teknik PS-InSAR. Penelitian tersebut berjudul "*Monitoring Land Subsidence in the Southern Part of the Lower*

Liaohe Plain,China, with a Multi-Track PS-InSAR Technique". Wilayah dataran rendah Liaohe dipilih karena wilayah tersebut merupakan wilayah industri di timur laut China dengan aktivitas utamanya yakni berupa eksploitasi minyak dan gas, akuakultur, dan produksi garam seluas 12.620 km^2. *Multi-track* digunakan karena wilayah penelitian yang cukup luas dan berada pada lebih dari satu cakupan area akuisisi satelit. Data yang digunakan yakni citra ALOS PALSAR dengan nomor *track* 436 dan 437. *Track* 436 berjumlah 17 data SAR dari mulai 01 Maret 2007 hingga 25 Oktober 2010 sedang *track* 437 berjumlah 23 data SAR mulai dari 31 Januari 2007 hingga 11 Februari 2011. Citra ALOS dari *track* 437 digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan detail dari prosedur pemrosesan PS. Total terdapat 23 citra ALOS PALSAR dari *track 437* dan citra dengan akuisisi pada tanggal 24 Desember 2009 dijadikan citra master. Sehingga total terdapat 22 citra interferogram pada *track* 437. Pada cakupan area penelitian tersebut terdapat tiga lapangan minyak, yakni lapangan minyak Jinzhou, lapangan minyak Huanxiling, dan lapangan minyak Shuguang. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa deformasi rata-rata maksimum terjadi pada masing-masing wilayah yakni sebesar -130 mm per tahun di lapangan Jinzhou, -118 mm per tahun di lapangan minyak Huanxiling, dan -236 mm per tahun di lapangan minyak Shuguang. Sedangkan secara kumulatif, yakni dari 31 Januari 2007 hingga 11 Februari 2011, lapangan Jinzhou mengalami penurunan tanah hingga 504 mm selama 4 tahun. Lapangan Huanxiling sebesar 471 mm, dan lapangan Shuguang sebesar 799 mm selama 4 tahun. Besarnya penurunan tanah di lapangan minyak Shuguang cukup mampu untuk mengakibatkan keretakan tanah. Penelitian ini membuktikan bahwa teknik PS-InSAR dapat dengan baik diaplikasikan untuk monitoring deformasi di suatu wilayah yang luas.

Dengan beberapa penelitian terdahulu terkait penurunan tanah di wilayah eksploitasi minyak, penelitian ini akan menjadi

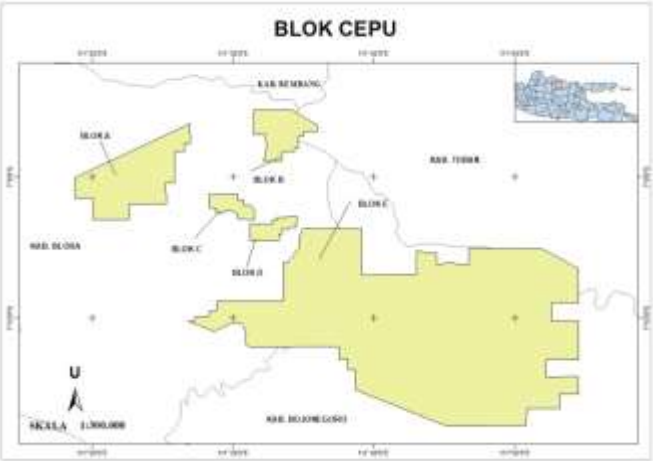
studi pertama yang akan membahas mengenai hal tersebut yang terjadi di daerah Blok Cepu.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III
METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian ini mengambil studi kasus wilayah eksploitasi Blok Cepu yang berada di wilayah Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Wilayah eksploitasi ini menurut PT. Sarana Patra Hulu Cepu yakni total seluas 918,19 km^2.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa citra satelit SAR ALOS PALSAR-1 arah *ascending* mode FBD (*Fine Beam Dual*) level 1.1 pada nomor orbit 428 sebanyak 8 buah dan nomor orbit 429 sebanyak 9 buah citra, serta Sentinel-1A arah *descending* tipe SLC (*Single Look Complex*) level 1.0 dengan tipe

polarisasi VV dan mode operasional IW (*Interferometric Wide Swath Mode*) sebanyak 21 citra. Hal ini mengacu rekomendasi menurut ESA dalam Aji, Prasetyo, dan Awalludin (2018) yang mengatakan bahwa mode akuisisi citra yang tepat digunakan pada pengamatan deformasi dan kegempaan adalah *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan polarisasi VV dan arah orbit *Descending*. Selain itu, mengacu penelitian dari Noferini (2007), penggunaan polarisasi VV dan HH dapat mengekstrak point-point yang stabil dan akurat. Namun dikarenakan tidak tersedianya data polarisasi HH, maka tipe polarisasi yang digunakan adalah polarisasi VV. Perbedaan arah terbang citra dikarenakan adanya keterbatasan ketersediaan data dari kedua macam citra. Cakupan wilayah citra terdapat pada gambar 3.2 berikut. Kotak merah menandakan cakupan citra ALOS-PALSAR, kotak warna oranye menandakan cakupan citra Sentinel-1A. Selain itu diperlukan juga data DEM SRTM 90m.

Gambar 3. 2. Cakupan Citra ALOS-PALSAR dan Sentinel-1A

Berikut daftar citra yang digunakan:

Tabel 3. 1 Daftar Citra ALOS-PALSAR

No.	**ID *File* Citra**	**Tanggal Akuisisi**	**Arah Terbang**	***Path***
1.	ALPSRP078997040-L1.1	19 Juli 2007	*Ascending*	428
2.	ALPSRP085707040-L1.1	03 September 2007	*Ascending*	428
3.	ALPSRP092417040-L1.1	19 Oktober 2007	*Ascending*	428
4.	ALPSRP132677040-L1.1	21 Juli 2008	*Ascending*	428
5.	ALPSRP139387040-L1.1	05 September 2008	*Ascending*	428
6.	ALPSRP146097040-L1.1	21 Oktober 2008	*Ascending*	428
7.	ALPSRP186357040-L1.1	24 Juli 2009	*Ascending*	428
8.	ALPSRP193067040-L1.1	08 September 2009	*Ascending*	428
9.	ALPSRP074767040-L1.1	20 Juni 2007	*Ascending*	429
10.	ALPSRP081477040-L1.1	05 Agustus 2007	*Ascending*	429
11.	ALPSRP088187040-L1.1	20 September 2007	*Ascending*	429
12.	ALPSRP121737040-L1.1	07 Mei 2008	*Ascending*	429
13.	ALPSRP128447040-	22 Juni	*Ascending*	429

No.	ID *File* Citra	Tanggal Akuisisi	Arah Terbang	*Path*
	L1.1	2008		
14.	ALPSRP135157040-L1.1	07 Agustus 2008	*Ascending*	429
15.	ALPSRP141867040-L1.1	22 September 2008	*Ascending*	429
16.	ALPSRP182127040-L1.1	25 Juni 2009	*Ascending*	429
17.	ALPSRP1188837040-L1.1	10 Agustus 2009	*Ascending*	429

Tabel 3. 2 Daftar Citra Sentinel-1A

No.	ID File Citra	Tanggal Akuisisi	Arah Terbang	*Relative Orbit*
1.	S1A_IW_SLC__1SDV_20141204T220853_20141204T220928_003575_004381_A610	04 Desember 2014	*Descending*	3
2.	S1A_IW_SLC__1SDV_20150322T220851_20150322T220927_005150_0067DE_9569	22 Maret 2015	*Descending*	3
3.	S1A_IW_SLC__1SDV_20150602T220855_20150602T220930_006200_00815A_D0B0	02 Juni 2015	*Descending*	3
4.	S1A_IW_SLC__1SDV_20150906T220859_20150906T220934_007600_00A861_8191	06 September 2015	*Descending*	3
5.	S1A_IW_SLC__1SDV_20151211T220853_2	11 Desember	*Descending*	3

No.	ID File Citra	Tanggal Akuisisi	Arah Terbang	*Relative Orbit*
	0151211T220929_009000_00CE6D_2C8B	2015		
6.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160409T220852_20160409T220928_010750_0100CB_6986	09 April 2016	*Descending*	3
7.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160807T220859_20160807T220934_012500_0138D8_FB62	07 Agustus 2016	*Descending*	3
8.	S1A_IW_SLC__1SDV_20160924T220901_20160924T220936_013200_014FF5_7E0A	24 September 2016	*Descending*	3
9.	S1A_IW_SLC__1SDV_20161205T220900_20161205T220936_014250_0170BA_3CF2	05 Desember 2016	*Descending*	3
10.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170404T220905_20170404T220932_016000_01A64C_92EF	04 April 2017	*Descending*	3
11.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170603T220908_20170603T220935_016875_01C114_484E	03 Juni 2017	*Descending*	3
12.	S1A_IW_SLC__1SDV_20170907T220913_20170907T220940_018275_01EBAE_A1CE	07 September 2017	*Descending*	3
13.	S1A_IW_SLC__1SDV_20171212T220913_20171212T220940_019675_0216F4_1E0B	12 Desember 2017	*Descending*	3
14.	S1A_IW_SLC__1SDV_20180318T220911_2	18 Maret 2018	*Descending*	3

No.	ID File Citra	Tanggal Akuisisi	Arah Terbang	*Relative Orbit*
	0180318T220938_021075_02433A_234A			
15.	S1A_IW_SLC__1SDV_20180610T220915_20180610T220942_022300_0269E1_6C4C	10 Juni 2018	*Descending*	3
16.	S1A_IW_SLC__1SDV_20180902T220920_20180902T220947_023525_028FC7_6617	02 September 2018	*Descending*	3
17.	S1A_IW_SLC__1SDV_20181207T220920_20181207T220947_024925_02BEF2_9F1F	07 Desember 2018	*Descending*	3
18.	S1A_IW_SLC__1SDV_20190313T220917_20190313T220944_026325_02F17B_4E06	13 Maret 2019	*Descending*	3
19.	S1A_IW_SLC__1SDV_20190605T220921_20190605T220948_027550_031BE0_4918	05 Juni 2019	*Descending*	3
20.	S1A_IW_SLC__1SDV_20190921T220927_20190921T220954_029125_034E5B_1DFE	21 September 2019	*Descending*	3
21.	S1A_IW_SLC__1SDV_20191202T220926_20191202T220953_030175_0372C0_2EB2	02 Desember 2019	*Descending*	3

3.2.2 Peralatan

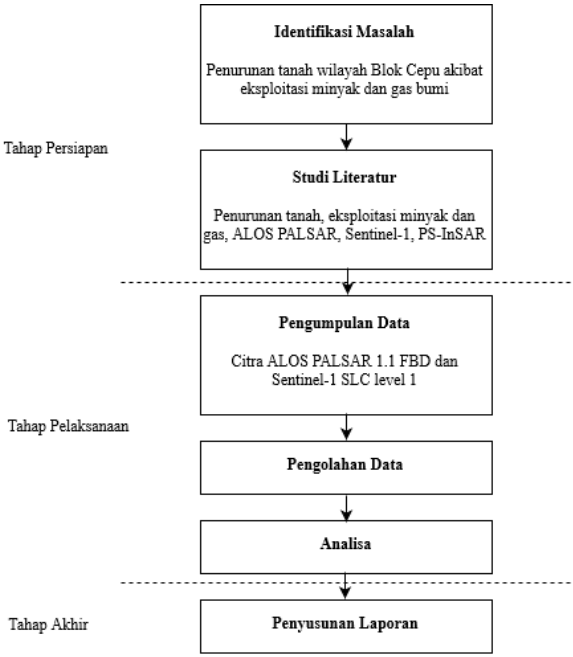
Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. SARProz
   Digunakan untuk mengolah citra satelit Sentinel-1 dan ALOS PALSAR
b. MatLab
   Digunakan untuk bisa menjalakan *software* SARProz
c. Google Earth
   Digunakan sebagai *software* pendukung dan pembantu ketika melakukan pengolahan menggunakan *software* SatProz
d. GMT (*Generic Mapping Tools*)
   Digunakan untuk memplotting peta penurunan muka tanah

3.3 Metodologi Pelaksanaan Pengolahan

3.3.1 Tahapan Penelitian

Diagram alir metodologi yang akan dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

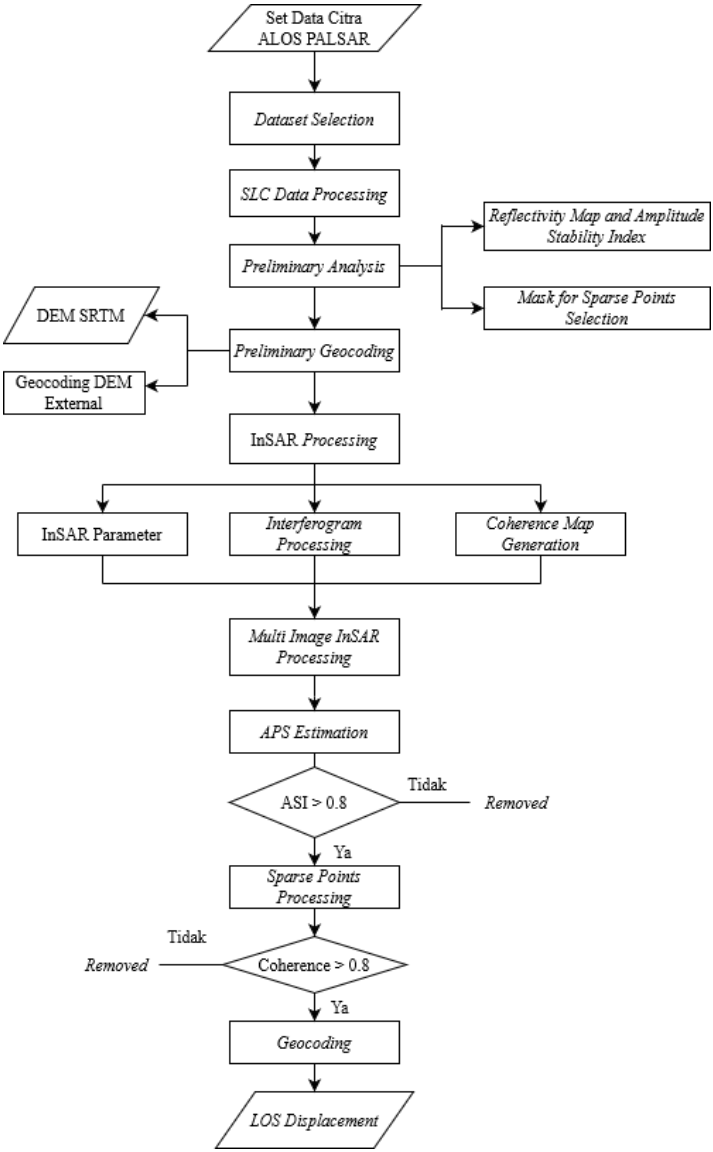
a. Tahap Persiapan
    a. Identifikasi Masalah
       Mengidentifikasi permasalahan yang ada di Blok Cepu yang diduga bisa menjadi penyebab terjadinya penurunan tanah di wilayah tersebut
    b. Studi Literatur
       Pengumpulan literatur mengenai penurunan tanah, pengolahan PS-InSAR, pengoperasian SARProz, dan karakteristik daerah penelitian
b. Tahap Pelaksanaan
    a. Pengumpulan Data
       Dilakukan proses pengumpulan data-data penunjang yang mendukung penelitian ini.

b. Tahap pengolahan data citra ALOS PALSAR dan Sentinel-1A dengan metode PS-InSAR menggunakan SARProz
c. Tahap Analisa Data
   Dilakukan untuk menganalisis penurunan tanah yang terjadi dan kaitannya dengan kondisi struktur geologi wilayah tersebut

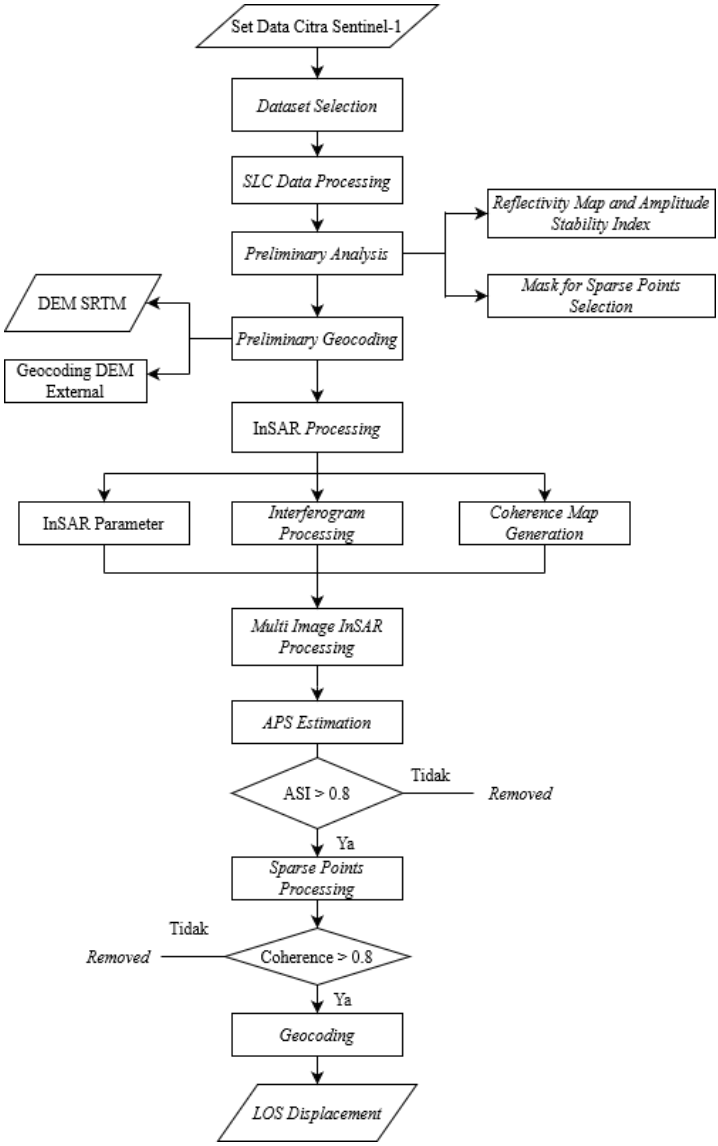
c. Tahap Akhir
   Tahap akhir berupa penyusunan laporan analisis penurunan tanah di daerah Blok Cepu dengan metode PS-InSAR

3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.4 dan 3.5 di bawah.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dari ALOS-PALSAR

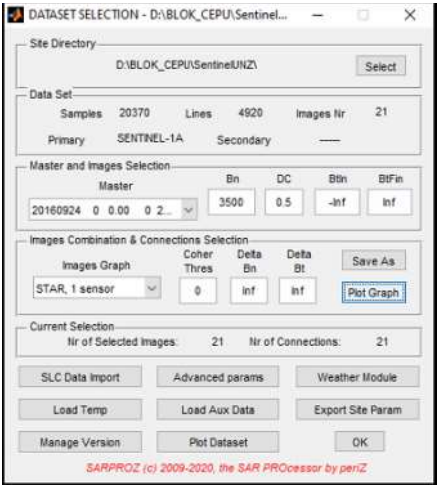


Gambar 3. 5. Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dari Sentinel-1A

Berikut adalah penjelasan mengenai tahapan-tahapan dalam diagram alir pengolahan PS-InSAR.

a. Dataset Selection

Pada tahap ini dilakukan pemilihan folder direktori yang berisi sekumpulan citra dalam format SLC (*Single Look Complex)* yang akan dilakukan pengolahan. Dari pemilihan folder tersebut akan otomatis terbaca jumlah citra yang ada serta dilakukan perhitungan baseline untuk menentukan citra master. Citra master ditentukan dari posisi barycenter dari perhitungan normal dan temporal *baseline*.



Gambar 3. 6 *Dataset Selection*

b. SLC Data Processing

Tahap ini berfungsi untuk membaca data dan menentukan parameter dari data tersebut, seperti melakukan pemilihan tipe polarisasi dan nomor *subswath*. Dari parameter yang sudah ditentukan selanjutnya akan dilakukan pengunduhan data orbit satelit dan melihat *footprint* dari serangkaian data citra di dalam Google Earth. Pemilihan

cakupan area (*Area of Interest*) dapat dilakukan dari cakupan *footprint* tersebut dengan memasukkan koordinat lintang, bujur, dan radius dari *centroid* AOI.

Gambar 3. 7 *SLC Data Processing*

Setelah pemilihan AOI maka dilanjutkan dengan proses mengekstrak citra master dan slave, serta proses coregistrasi. Parameter-parameter coregistrasi dapat diubah sesuai kebutuhan pada *tool* Co-reg param. Proses koregistrasi memastikan bahwa setiap target/permukaan tanah berkontribusi pada piksel yang sama, baik master maupun slave (Yulyta, 2018).

c. Preliminary Analysis

Pada tahap ini terbagi menjadi dua, yakni:

– *Reflectivity Map and Amplitude Stability Index*

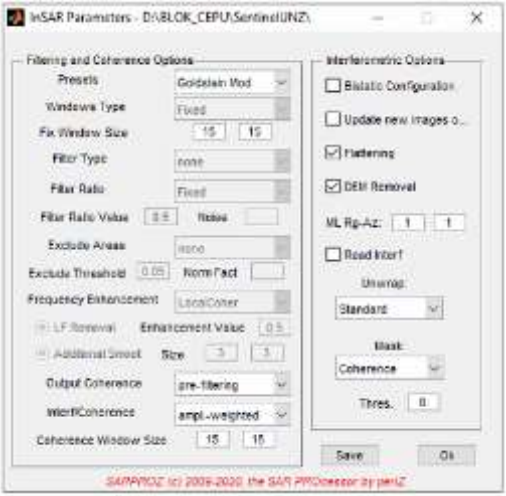
Pembentukan peta reflektifitas yang menunjukkan rata-rata amplitudo dari serangkaian citra serta

perhitungan nilai Amplitude Stability Index dari tiap tiap pixel citra.

– *Mask for Sparse Points Selection*
  Pembentukan titik-titik *sparse* yang akan berguna untuk penentuan titik-titik PS.

d. Preliminary Geocoding
  Pada tahap ini, dilakukan dua pemrosesan, yakni pengunduhan data DEM SRTM secara otomatis, dan dilakukan proses geocoding dari data DEM tersebut dengan cara pemilihan GCP.

e. InSAR Processing
  – InSAR Parameter
    Pada tahap ini, sebelum melakukan proses pembentukan citra interferogram, terlebih dahulu mengatur parameter-parameter yang akan digunakan untuk pembentukan interferogram pada *tool* InSAR Parameter seperti *filtering*, *multi-looking*, *DEM Removal*, dan *unwrapping*.



Gambar 3. 3. InSAR Parameter

Metode unwrapping yang digunakan adalah menggunakan metode *standart*. Metode *standart* merupakan metode unwrapping yang dilakukan secara *pixel to pixel*. Menurut Adi dkk (2008), algoritma metode unwrapping ini melakukan proses unwrapping sebuah piksel berdasarkan piksel-piksel tetangganya.

– Interferogram Processing

  Setelah melakukan pengaturan pada parameter baru bisa dilakukan proses interferogram pada *tool Interferogram Processing*. Citra interferogram mengandung informasi perbedaan fasa antara kedua citra. Dari perubahan fase ini maka akan dapat diketahui apakah terdapat perubahan pada permukaan bumi atau tidak.

– Coherence Map Generation

  Perhitungan nilai *spatial coherence* atau rata-rata nilai koherensi dari set interferogram.

f. Multi Image InSAR Processing

Terdapat dua tahap pada proses Multi Image InSAR Processing, yakni:

– APS Estimation

Gambar 3. 8 APS Estimation

Pembentukan titik-titik awal PS yang kemudian disebut dengan PSC (PS *Candidates*). Parameter yang digunakan adalah parameter *Amplitude Stability Index* dengan batas ambang tertentu, yang pada penelitian ini digunakan batas ambang 0,8. Sehingga titik-titik yang memiliki nilai ASI kurang dari 0,8 akan dihilangkan. Dari sebaran titik PSC tersebut akan dibentuk jaring antar titik untuk melihat konektivitas koheren antar titik-titik PSC. Pada tahap ini dilakukan estimasi awal perhitungan *linear deformation velocity* pada titik PSC. Selain itu juga dilakukan pemilihan titik referensi untuk dijadikan acuan pergerakan/*displacement* dari titik-titik PS nantinya. Setelah itu dilakukan estimasi nilai APS (*Atmospheric Phase Screen*) dan dikurangkan ke dalam nilai estimasi awal deformasi. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan efek atmosferik akibat perubahan secara temporal dan spasial dari keadaan atmosfer.

– Sparse Points Processing

Gambar 3. 9 Multi Image Sparse Points Processing

Proses pembentukan titik-titik final PS dari titik PSC pada tahap sebelumnya. Nilai estimasi deformasi tiap titik PS yang sudah dilakukan pengurangan efek atmosferik kemudian di relatifkan terhadap titik referensi yang sudah dipilih sebelumnya sehingga didapatkan nilai akhir dari perhitungan *linear deformation velocity*. Pada tahap ini akan terbentuk *phase residual* yang merupakan fase sisa dari penghilangan APS dan perhitungan nilai deformasi.

g. Geocoding

Mengkonversi koordinat titik-titik PS menjadi koordinat bumi. Titik PS dikonversi ke dalam koordinat geografis. Titik PS yang dikonversi adalah titik dengan nilai koherensi lebih dari 0,8. Hal ini mengacu penelitian dari Yang (2019) yang mengatakan bahwa batas ambang koherensi 0,8 dapat mengidentifikasi titik PS yang lebih otentik dan akurat. Pada tahap ini, hasil akhir titik-titik PS dapat di tampilkan dalam Google Earth.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB IV

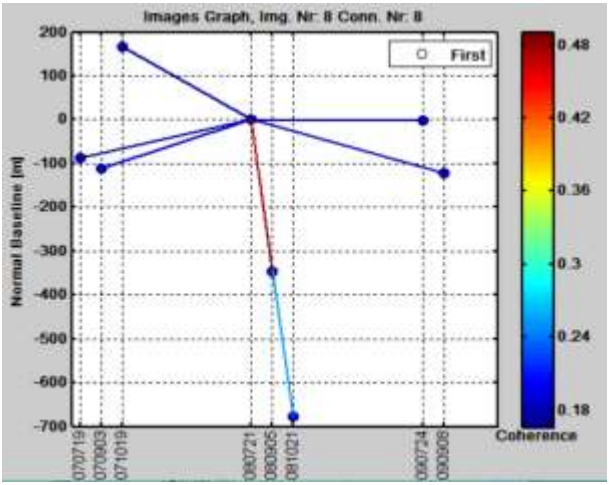
HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

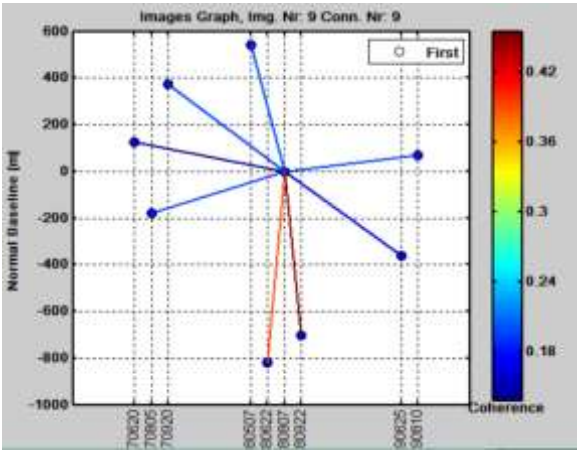
4.1.1 Panjang Baseline dan Interval Waktu

Kemampuan pengamatan fenomena deformasi menggunakan data SAR dari waktu ke waktu sangat bergantung kepada ketersediaan data yang ada, seperti sensor radar yang beroperasi, *revisit time*, mode akuisisi, dan *perpendicular baseline* (Rocca, 2004). Makin besar baseline maka akan memengaruhi nilai koherensi yang didapat pada saat proses pembentukan citra interferogram. Untuk memperoleh nilai koherensi pasangan citra yang baik, diperlukan jarak temporal (*temporal baseline*) yang tidak lebih dari 6 bulan dan panjang baseline yang tidak lebih dari 150 m (Ferretti dkk, 2007). Sensor radar juga mempengaruhi kemampuan dalam pengamatan deformasi. Semakin panjang gelombang yang dipancarkan maka gelombang tersebut akan memiliki kemampuan dalam penetrasi awan dan uap air yang semakin meningkat (Hardi, 2008). Dalam penelitian ini digunakan dua macam sensor radar, yakni C-Band pada Sentinel-1 dan L-Band pada ALOS-PALSAR. Pengolahan menggunakan metode PS-InSAR memerlukan sejumlah citra SAR yang diakuisisi pada area yang sama. Minimal 15-20 citra pada C-band diperlukan dalam penggunaan PS-InSAR (Bovenga dkk, 2012). Sedangkan mengacu penelitian dari Sudiana dkk (2014), enam citra ALOS-PALSAR dapat digunakan untuk mendeteksi deformasi tanah menggunakan metode PS-InSAR. Oleh karena itu pada penelitian kali ini digunakan 21 citra Sentinel-1 pada orbit nomor 3, 8 citra ALOS PALSAR pada orbit 428, dan 9 citra ALOS PALSAR pada orbit 429. Dari hasil pengolahan menggunakan *software* SarProz didapatkan plot

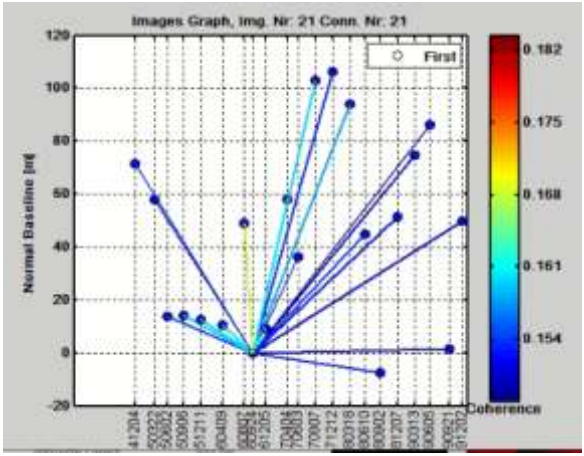
baseline dari masing-masing citra adalah sebagai berikut, dengan titik pusat menandakan citra master::



Gambar 4. 3. Plot Baseline Citra ALOS-PALSAR Orbit 428



Gambar 4. 4. Plot Baseline Citra ALOS-PALSAR Orbit 429



Gambar 4. 5. Plot Baseline Citra Sentinel-1A

Adapun perhitungan *perpendicular baseline* dan *temporal baseline* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Baseline Citra Sentinel-1A

Pasangan Citra	***Temporal Baseline***	***Perpendicular Baseline***
24 September 2016 – 04 Desember 2014	912 hari	-37,28 m
24 September 2016 – 22 Maret 2015	804 hari	-19,9 m
24 September 2016 – 02 Juni 2015	732 hari	26,75 m
24 September 2016 – 06 September	646 hari	27,37 m

Pasangan Citra	***Temporal Baseline***	***Perpendicular Baseline***
2015		
24 September 2016 – 11 Desember 2015	540 hari	26,15 m
24 September 2016 – 09 April 2016	420 hari	27,86 m
24 September 2016 – 07 Agustus 2016	300 hari	-14,01 m
24 September 2016 - 05 Desember 2016	252 hari	38,84 m
24 September 2016 – 04 April 2017	180 hari	32,94 m
24 September 2016 – 03 Juni 2017	60 hari	-19,84 m
24 September 2016 – 07 September 2017	-96 hari	-73,37 m
24 September 2016 – 12 Desember 2017	-192 hari	-73,47 m
24 September 2016 – 18 Maret 2018	-288 hari	-59,14 m
24 September 2016 – 10 Juni 2018	-372 hari	-10,76 m
24 September 2016 – 02 September 2018	-456 hari	48,51 m
24 September 2016 – 07 Desember 2018	-552 hari	-14,69 m
24 September 2016 – 13 Maret 2019	-648 hari	-38,71 m
24 September 2016 -05 Juni 2019	-732 hari	-52,84 m
24 September 2016	-840 hari	37,55 m

Pasangan Citra	***Temporal Baseline***	***Perpendicular Baseline***
– 21 September 2019		
24 September 2016 – 02 Desember 2019	-912 hari	-16,62 m

Tabel 4. 2 Baseline Citra ALOS PALSAR Orbit 428

Pasangan Citra	***Temporal Baseline***	***Perpendicular Baseline***
21 Juli 2008 – 19 Juli 2007	-368	149 m
21 Juli 2008 – 03 September 2007	-322 hari	169 m
21 Juli 2008 –19 Oktober 2007	-276 hari	-137 m
21 Juli 2008 – 05 September 2008	46 hari	384 m
21 Juli 2008 –21 Oktober 2008	92 hari	600 m
21 Juli 2008 – 24 Juli 2009	368 hari	56 m
21 Juli 2008 – 08 September 2009	414 hari	161 m

Tabel 4. 3 Baseline Citra ALOS PALSAR Orbit 429

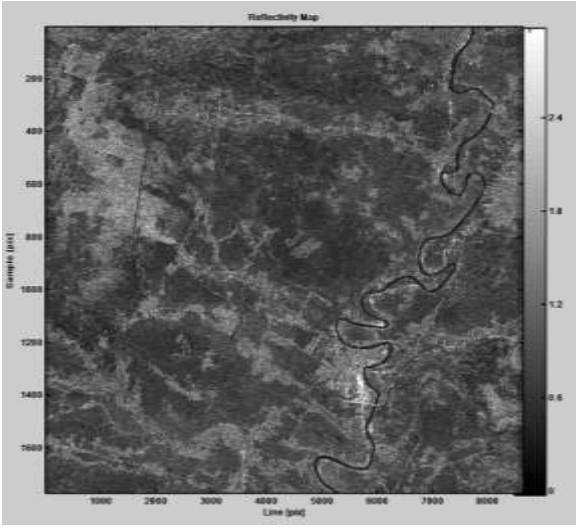
Pasangan Citra	***Temporal Baseline***	***Perpendicular Baseline***
07 Agustus 2008 – 20 Juni 2007	-414 hari	-121 m
07 Agustus 2008 – 05 Agustus 2007	-368 hari	128 m
07 Agustus 2008 –	-322 hari	-383 m

20 September 2007		
07 Agustus 2008 – 07 Mei 2008	-92 hari	-541 m
07 Agustus 2008 – 22 Juni 2008	-46 hari	770 m
07 Agustus 2008 - 22 September 2008	46 hari	718 m
07 Agustus 2008 – 25 Juni 2009	322 hari	386 m
07 Agustus 2008 – 10 Agustus 2009	368 hari	-65 m

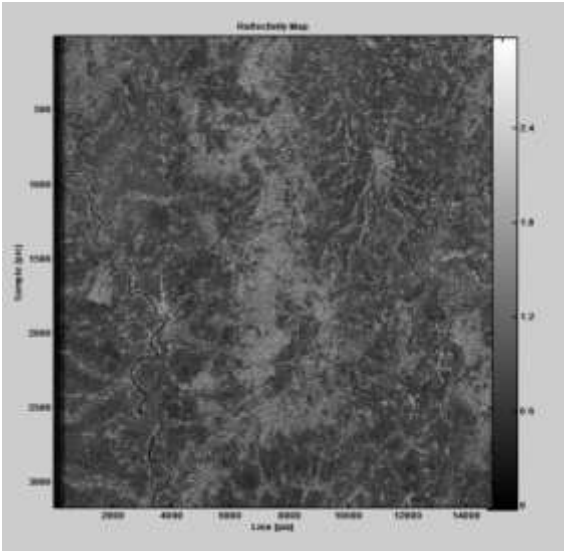
Perhitungan baseline penting untuk dilakukan karena akan memengaruhi koherensi yang muncul yang menjadi salah satu indikator kualitas citra interferogram. Dari tabel 4.1, keseluruhan citra Sentinel-1A memiliki *perpendicular baseline* yang optimal, yakni kurang dari 150m. Sedangkan pada Tabel 4.2 dan 4.3 memiliki rentang *perpendicular baseline* yang kurang optimal, yakni kebanyakan lebih dari 150m. Menurut Canaslan dan Ustun (2012), semakin panjang *perpendicular baseline* akan mengakibatkan semakin rendahnya koherensi karena perubahan dari *look angle* citra master dan citra slave yang mengakibatkan timbulnya perbedaan karakteristik hamburan balik sinyal radar. Sedangkan dari perhitungan temporal *baseline*, kebanyakan citra masih memiliki temporal *baseline* yang lebih dari 6 bulan. Menurut Resmi (2016), semakin jauh perbedaan waktu akuisisi pada tiap citra akan mengakibatkan dekorelasi temporal yang menyebabkan hilangnya koherensi citra karena perubahan temporal, seperti perubahan reaksi vegetasi, pergerakan permukaan air secara terus menerus, erosi tanah, dan aktivitas manusia.

4.1.2 *Reflectivity Map*

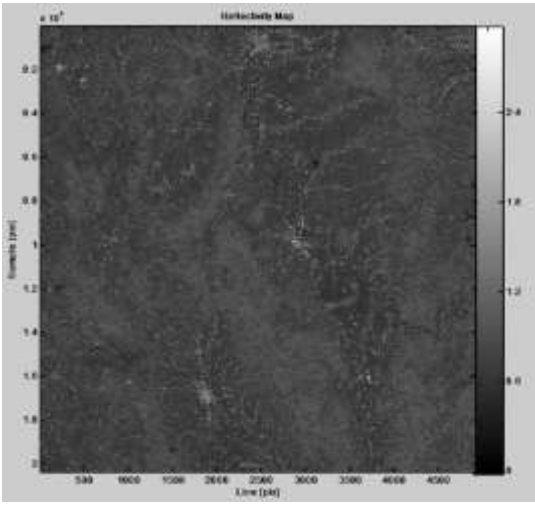
Reflectivity Map menunjukkan rata-rata nilai amplitudo dari seluruh citra. Pada proses pembentukan *reflectivity map* juga dilakukan perhitungan standard deviasi fase yang berguna untuk perhitungan *Amplitude Stability Index*. Gambar di bawah ini menunjukkan peta reflektifitas yang terbentuk pada proses pengolahan. Nilai peta reflektifitas berkisar dari 0 hingga 3, 0 merepresentasikan pikel yang gelap dan 3 merepresentasikan piksel yang terang (Asopa, Kumar, dan Thakur 2018). Piksel yang terang menandakan bahwa objek tersebut mempunyai hamburan sinyal balik yang kuat dan stabil sepanjang periode citra.



Gambar 4. 6 Reflectivity Map ALOS PALSAR Orbit 428



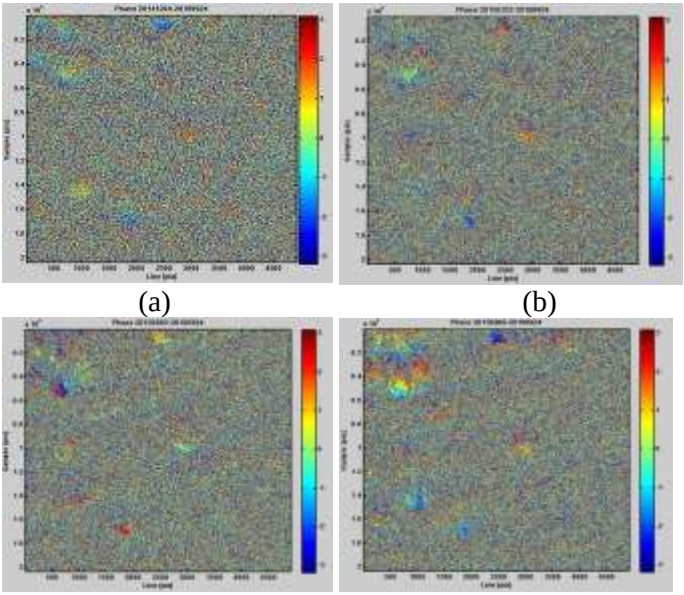
Gambar 4. 7 Reflectivity Map ALOS PALSAR Orbit 429



Gambar 4. 8 Reflectivity Map Sentinel-1A

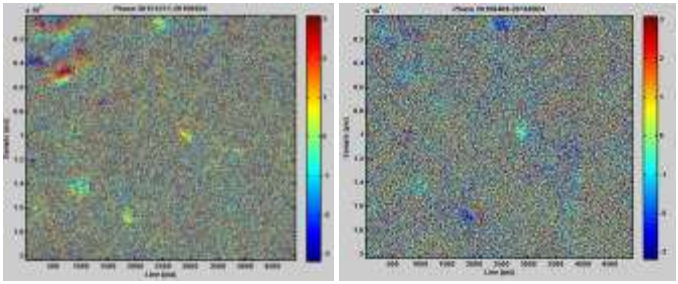
4.1.3 Interferogram

Citra interferogram mengandung informasi beda fase yang dibentuk dari dua buah citra yakni citra master dan *slave* yang merekam objek yang sama di permukaan bumi namun di akuisisi pada waktu berbeda. Jika suatu titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dengan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai fase yang direkam oleh sensor SAR. Nilai beda fase inilah yang menunjukkan adanya *ground movement* (Yulyta, Taufik, dan Hayati 2015). Hasil citra interferogram di bawah ini sudah dilakukan proses filtering menggunakan Goldstein Model dan eliminasi efek topografi menggunakan DEM SRTM 30 m.



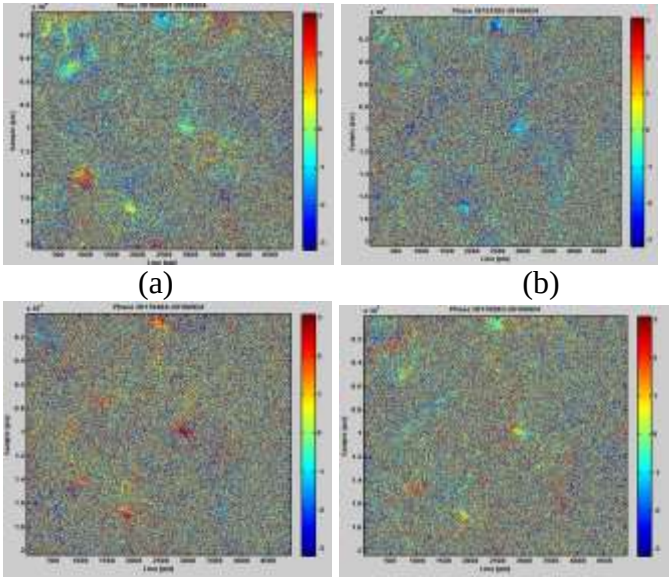
(a) (b)

(c) (d)



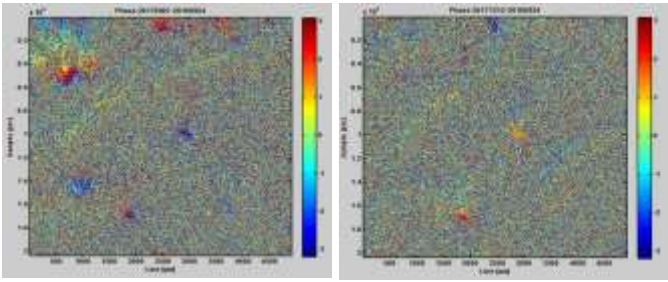
(e) (f)

Gambar 4. 9 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 04 Desember 2014; (b) fase 24 September 2016 - 22 Maret 2015; (c) fase 24 September 2016 – 02 Juni 2015; (d) fase 24 September 2016 – 06 September 2015; (e) fase 24 September 2016 – 11 Desember 2015; (f) fase 24 September 2016 – 9 April 2016



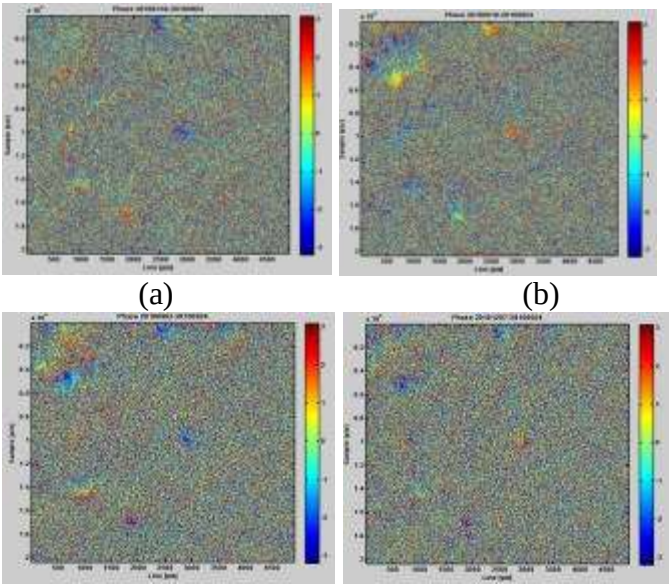
(a) (b)

(c) (d)



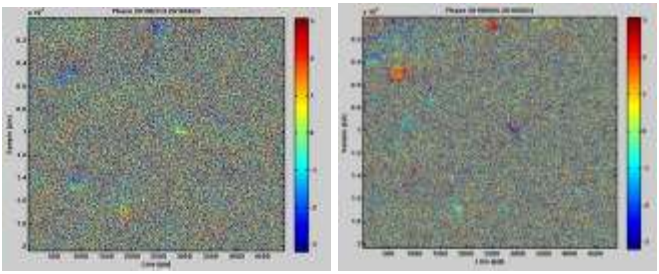
(e) (f)

Gambar 4. 10 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 7 Agustus 2016; (b) fase 24 September 2016 – 5 Desember 2016; (c) fase 24 September 2016 – 4 April 2017; (d) fase 24 September 2016 – 3 Juni 2017; (e) fase 24 September 2016 – 7 September 2017; (f) fase 24 September 2016 – 12 Desember 2017



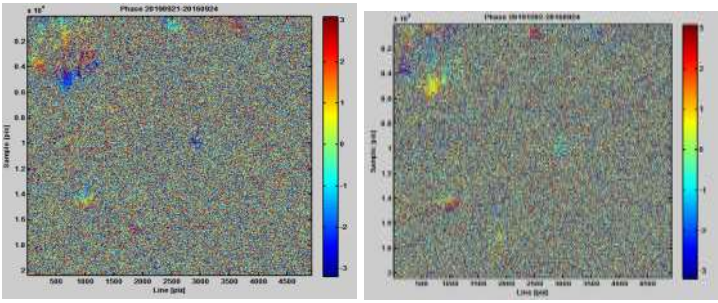
(a) (b)

(c) (d)



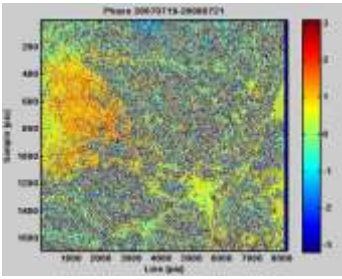
(e) (f)

Gambar 4. 11 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 18 Maret 2018; (b) fase 24 September 2016 – 10 Juni 2018; (c) fase 24 September 2016 – 2 September 2018; (d) fase 24 September 2016 – 7 Desember 2018; (e) fase 24 September 2016 – 13 Maret 2019; (f) fase 24 September 2016 – 5 Juni 2019

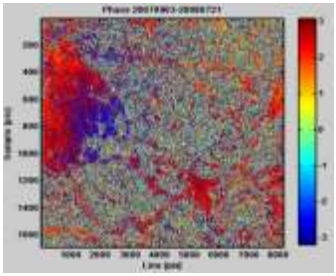


(a) (b)

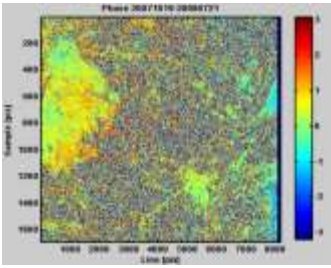
Gambar 4. 12 Citra Interferogram Sentinel-1A (a) fase 24 September 2016 – 21 September 2019; (b) fase 24 September 2016 – 2 Desember 2019



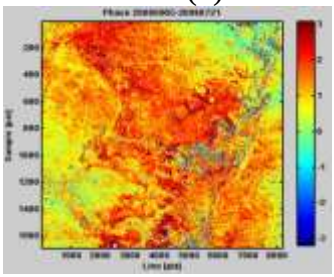
(a)



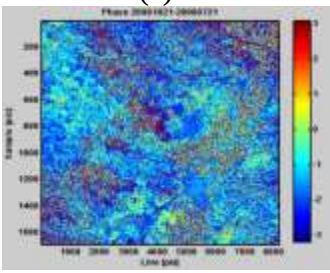
(b)



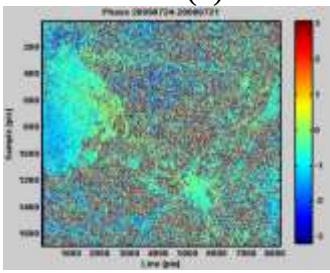
(c)



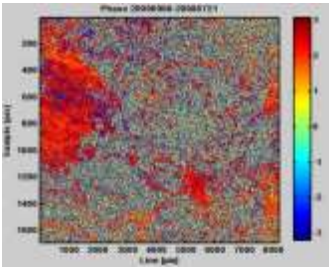
(d)



(e)

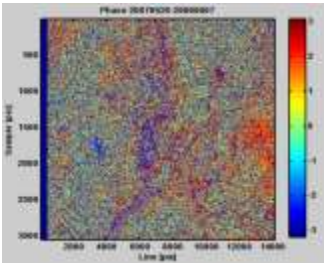


(f)

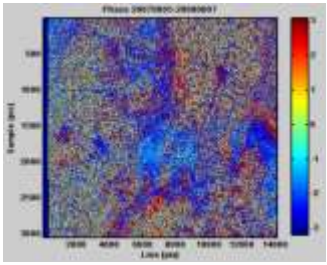


(g)

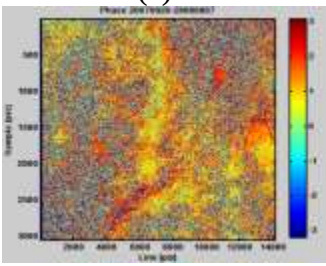
Gambar 4. 13 Citra Interferogram ALOS PALSAR Orbit 428 (a) fase 21 Juli 2008 – 19 Juli 2007; (b) fase 21 Juli 2008 – 3 September 2007; (c) fase 21 Juli 2008 – 19 Oktober 2007; (d) fase 21 Juli 2008 – 5 September 2008; (e) fase 21 Juli 2008 – 21 Oktober 2008; (f) fase 21 Juli 2008 – 24 Juli 2009; (g) fase 21 Juli 2008 – 8 September 2009



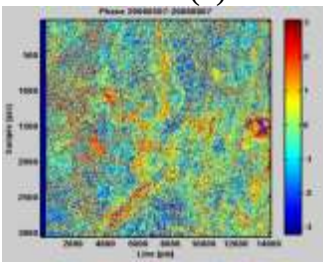
(a)



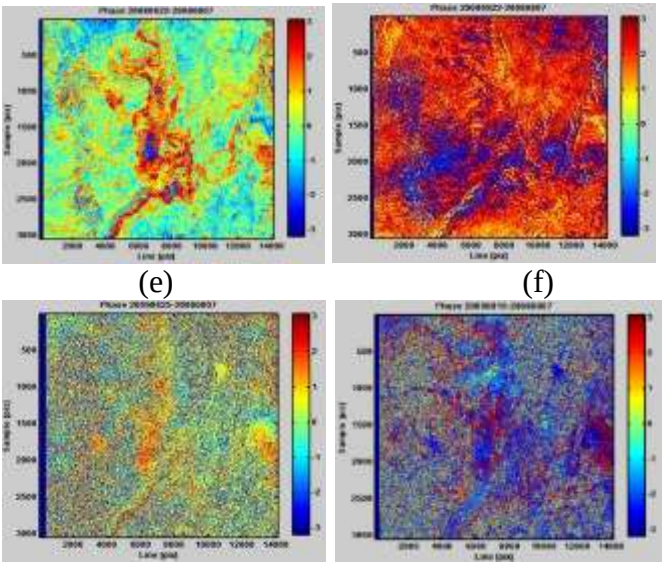
(b)



(c)



(d)



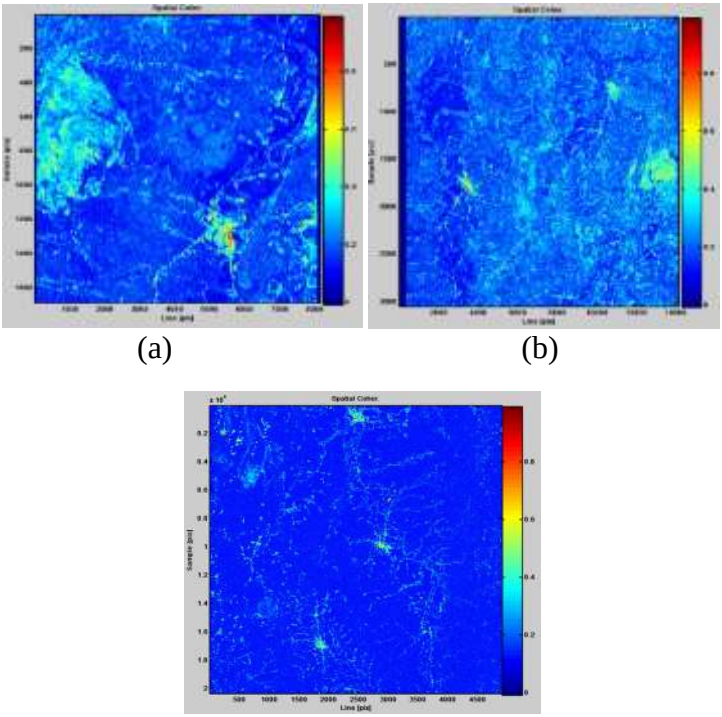
(e) (f)

(g) (h)

Gambar 4. 14 Citra Interferogram ALOS PALSAR Orbit 429 (a) fase 7 Agustus 2008 – 20 Juni 2007; (b) fase 7 Agustus 2008 – 5 Agustus 2007; (c) fase 7 Agustus 2008 – 20 September 2007; (d) fase 7 Agustus 2008 – 7 Mei 2008; (e) fase 7 Agustus 2008 – 22 Juni 2008; (f) fase 7 Agustus 2008 – 22 September 2008; (g) fase 7 Agustus 2008 – 25 Juni 2009; (h) fase 7 Agustus 2008 – 10 Agustus 2009

4.1.4 Koherensi Citra SAR

Koherensi citra SAR didapatkan pada proses *Coherence Map Generation* dari hasil rata-rata koherensi seluruh pasang citra interferogram. Koherensi menunjukkan keidentikan atau kesamaan dari masing-masing citra. Rentang nilai koherensi yakni dari 0 hingga 1. Semakin mendekati nilai 1, maka makin identik citra-citra tersebut.



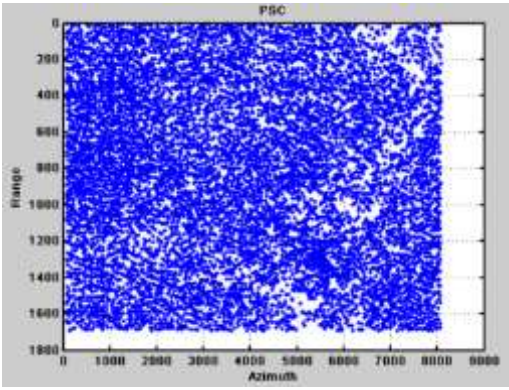
Gambar 4. 15 Koherensi Citra (a) ALOS-PALSAR Orbit 428; (b) ALOS-PALSAR Orbit 429; (c) Sentinel-1A

Dari data yang didapatkan, terdapat perbedaan koherensi yang mencolok antara citra ALOS-PALSAR dengan Sentinel-1A. Hal ini disebabkan karena *band* yang digunakan kedua citra tersebut berbeda yakni ALOS-PALSAR menggunakan L-band dan Sentinel-1A menggunakan C-band. Perbedaan band mengacu pada perbedaan panjang gelombang yang digunakan. Panjang gelombang yang makin besar memiliki kemampuan menembus vegetasi yang makin besar pula. Dikarenakan wilayah penelitian masih banyak didominasi oleh sawah dan perkebunan, maka hasil

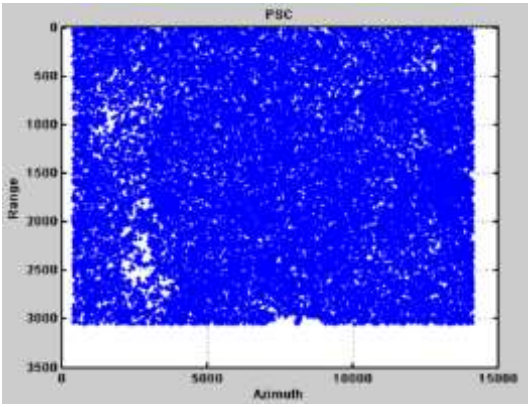
koherensi dari ALOS-PALSAR terlihat lebih baik dibandingkan koherensi Sentinel-1A.

4.1.5 *APS Estimation*

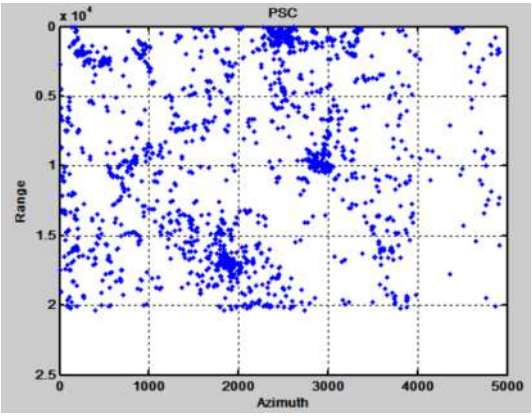
Pengolahan PS-InSAR dimulai dengan identifikasi titik-titik awal PS atau disebut dengan PSC (PS-*Candidate*). Parameter yang digunakan untuk identifikasi PSC yakni nilai *Amplitude Stability Index* (ASI). Menurut Fárová dkk (2019), batas ambang ASI yang digunakan untuk seleksi awal titik-titik PS adalah 0.8. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan titik yang benar-benar stabil.



(a)



(b)

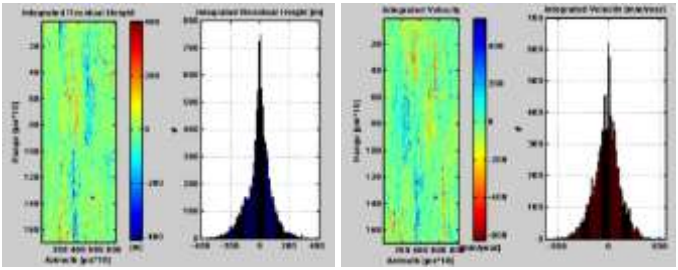


(c)

Gambar 4. 16 Persebaran PSC (a) Citra ALOS-PALSAR Orbit 428; (b) Citra ALOS-PALSAR Orbit 429; (c) Citra Sentinel-1A

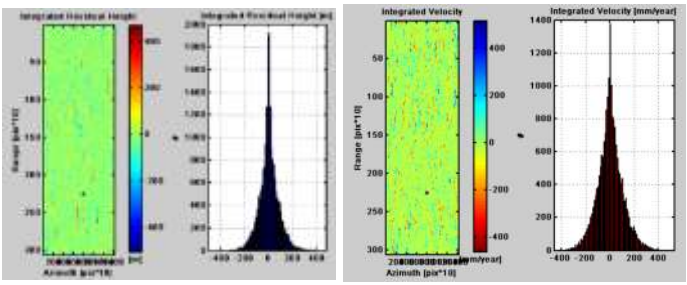
Dari gambar di atas, jumlah titik-titik PSC yakni sebesar 9.488 point untuk ALOS-PALSAR orbit 428, 20.257 point untuk ALOS-PALSAR orbit 429, dan 1.657 point untuk Sentinel-1A.

Dari PSC selanjutnya dilakukan perhitungan estimasi awal *displacement* dan *residual height*. Selanjutnya dilakukan pemilihan titik referensi yang dijadikan acuan pergerakan/*displacement* dari titik-titik PS nantinya. Titik referensi tersebut haruslah paling stabil sehingga pergerakan dari titik-titik PS akan relatif terhadap titik referensi tersebut. Untuk membuktikan stabil atau tidaknya titik referensi yang dipilih, histogram yang muncul ketika plotting estimasi *velocity* dan *residual height* harus memiliki puncak pada nilai 0. *Residual height* yang berada pada puncak nilai 0 berarti bahwa titik referensi terletak di atas tanah. Jika titik referensi tidak berada di atas tanah maka akan dianggap tidak stabil. Sedangkan *velocity* yang berada pada puncak 0 berarti bahwa titik referensi memiliki posisi yang relatif stabil dan tidak rentan mengalami pergerakan (Qin, 2018).



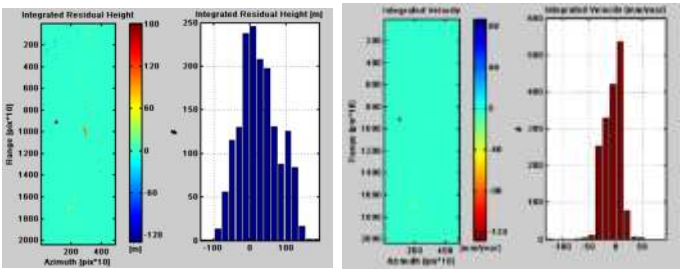
(a) (b)

Gambar 4. 17 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity ALOS-PALSAR Orbit 428



(a) (b)

Gambar 4. 18 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity ALOS-PALSAR Orbit 429

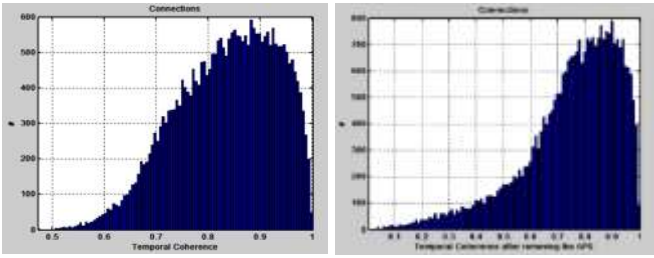


(a) (b)

Gambar 4. 19 Histogram Integrated Residual Height dan Velocity Sentinel-1A

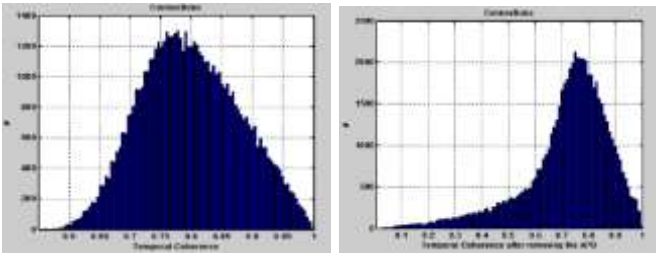
Kemudian dilakukan estimasi APS (*Atmospheric Phase Screen*). APS adalah fase atmosferik yang memengaruhi citra SAR yang memiliki kondisi berbeda beda pada tiap akuisisi citra. Kontribusi nilai beda fase atmosferik dipengaruhi oleh penundaan sinyal ketika melintasi lapisan troposfer dan ionosfer. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan hingga beberapa meter jika diabaikan, namun bagaimanapun juga komponen troposfer memberikan pengaruh terbesar dimana dipengaruhi oleh tekanan udara, uap air, dan tetesan air di sepanjang jalur perjalanan sinyal (Schubert dkk, 2015). Hasil APS kemudian dikurangkan ke dalam nilai estimasi awal *displacement* dan *residual height*. Estimasi APS

dianggap baik ketika koherensi temporal titik PSC lebih tinggi dibanding sebelum APS *removal*.



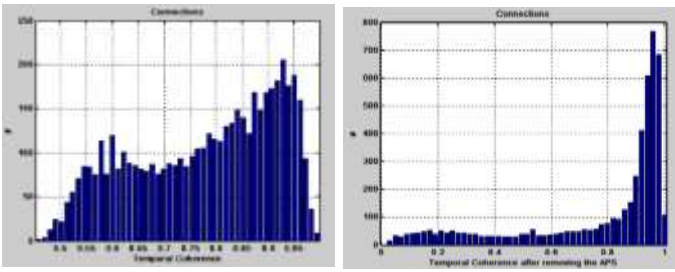
(a) (b)

Gambar 4. 20 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada ALOS-PALSAR Orbit 428



(a) (b)

Gambar 4. 21 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada ALOS-PALSAR Orbit 429

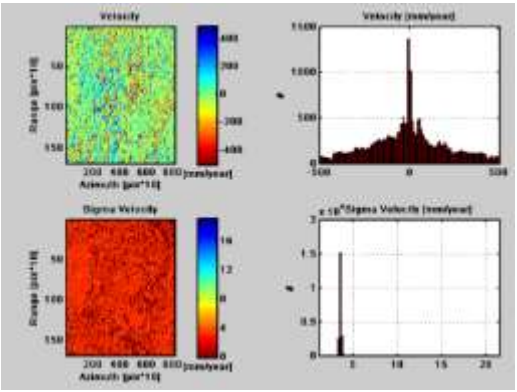


(a) (b)

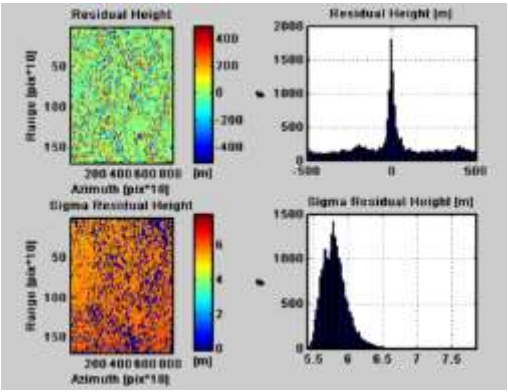
Gambar 4. 22 Koherensi Temporal PSC(a) sebelum APS Removal; (b) sesudah APS Removal Pada Sentinel-1A

4.1.6 Sparse Points Processing

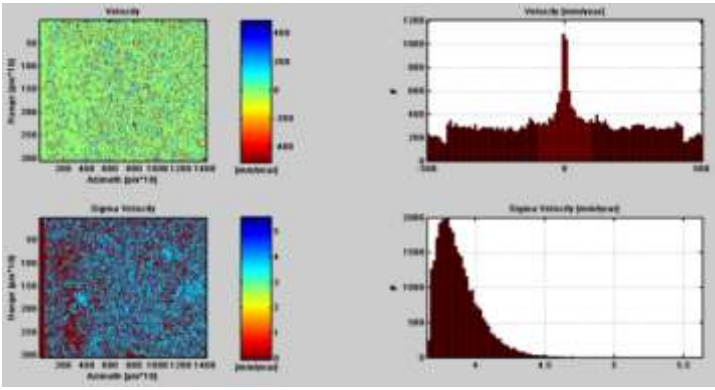
Seleksi titik PS tahap kedua untuk mendapatkan titik-titik final PS dengan menggunakan parameter yang sama dengan APS Estimation yakni *Amplitude Stability Index*. Batas ambang yang digunakan masih sama yakni 0,8 untuk citra ALOS-PALSAR. Namun batas ambang untuk Sentinel-1A dalam penelitian ini diturunakan menjadi 0,75 (Ferreti, 2001). Hal ini dilakukan agar mendapatkan titik yang lebih padat pada citra Sentinel-1A. Parameter dan titik referensi yang digunakan pun sama dengan parameter proses APS dan dilakukan estimasi ulang setelah dilakukan penghilangan APS pada proses APS *Estimation*. Proses estimasi ulang bertujuan menjadikan nilai *residual height* dan *displacement* relatif terhadap titik referensi yang sudah dipilih. Histogram yang dihasilkan pun harus memiliki puncak pada nilai 0. Puncak histogram nol yang berarti bahwa sebagian besar titik memiliki kecepatan relatif nol dengan referensi titik, menunjukkan bahwa titik referensi yang terpilih kemungkinan besar stabil (Qin, 2018)



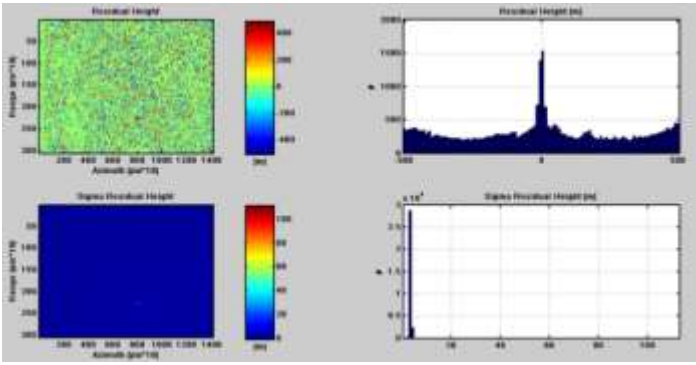
Gambar 4. 23 Estimasi velocity Citra ALOS-PALSAR Orbit 428



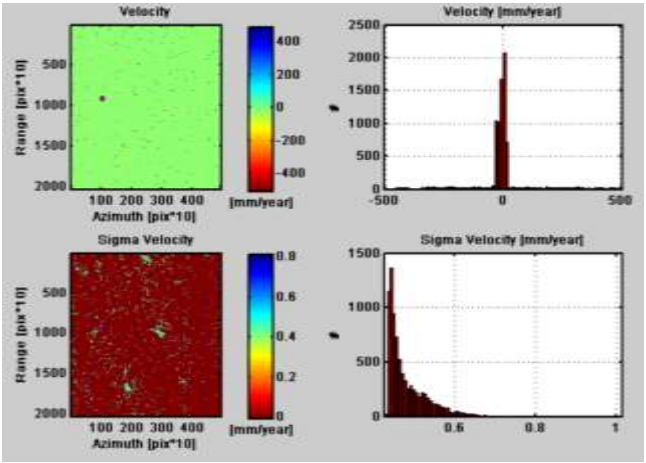
Gambar 4. 24 Estimasi Residual Height Citra ALOS-PALSAR Orbit 428



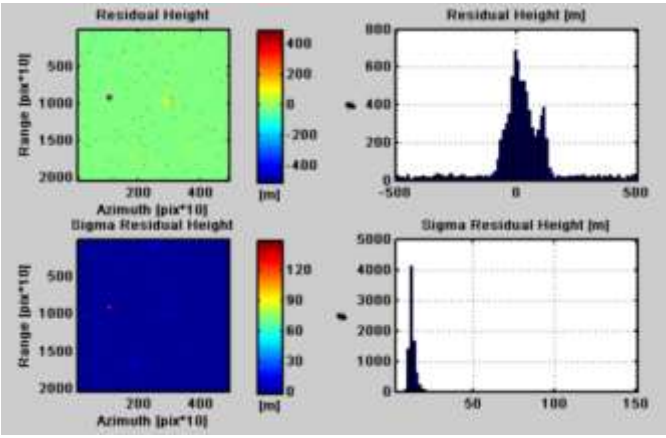
Gambar 4. 25 Estimasi Velocity Citra ALOS-PALSAR Orbit 429



Gambar 4. 26 Estimasi Residual Height Citra ALOS-PALSAR Orbit 429

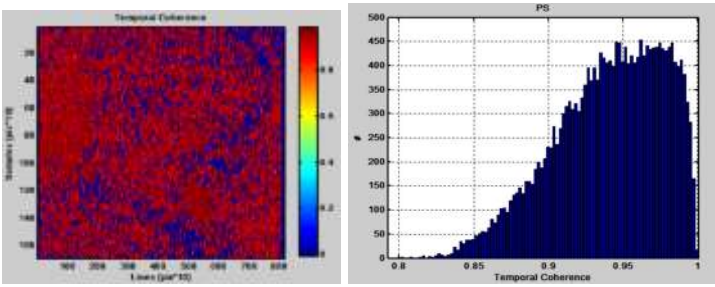


Gambar 4. 27 Estimasi Velocity Citra Sentinel-1A

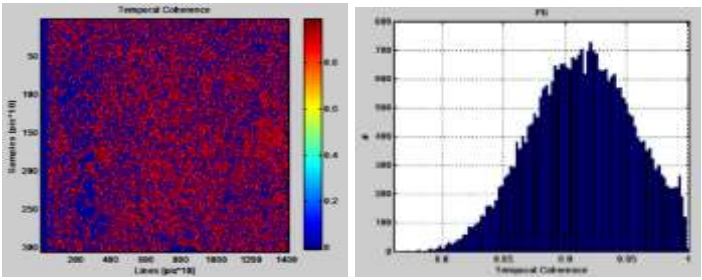


Gambar 4. 28 Estimasi Residual Height Citra Sentinel-1A

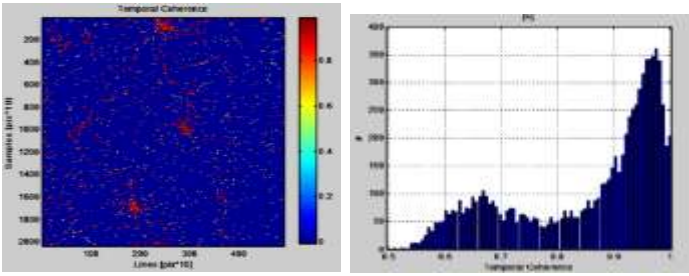
Pada proses ini akan terbentuk fase residu. Baik tidaknya nilai estimasi APS dan parameter dibuktikan dengan fase residu yang kecil dan koherensi temporal yang tinggi dari titik-titik PS.



Gambar 4. 29 Koherensi Temporal PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 428



Gambar 4. 30 Koherensi Temporal PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 429



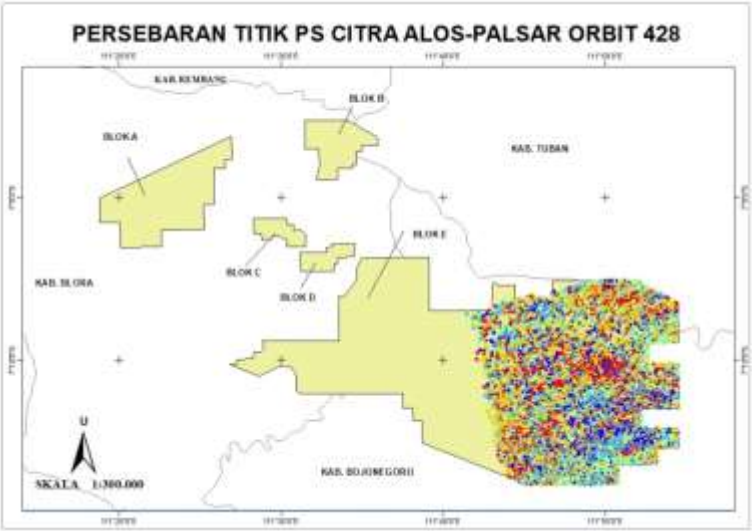
Gambar 4. 31 Koherensi Temporal PS Citra Sentinel-1A

4.2 Analisa Besar Penurunan Tanah Area Studi

Data yang dihasilkan dari proses pengolahan terakhir yakni Sparse Point Processing selanjutnya diekstraksi sehingga didapat persebaran titik PS yang menunjukkan *velocity rate* dari area studi pada arah LOS (*Line of Sight*).

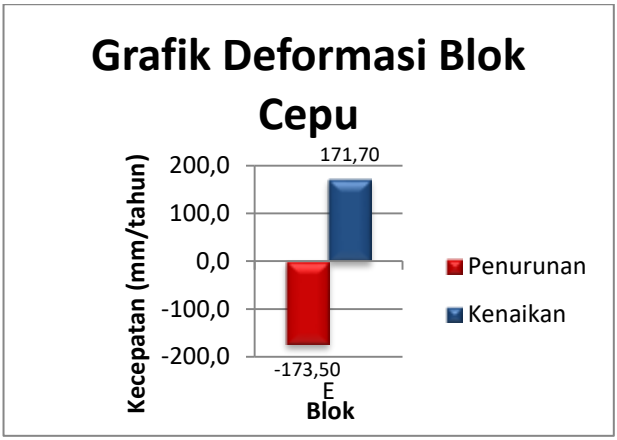
4.2.1 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR

Pada pengolahan citra ALOS-PALSAR orbit 428, didapat persebaran titik-titik PS setelah dilakukan subset pada daerah penelitian sebanyak 12.869 titik sebagai berikut. Peta persebaran titik PS ALOS-PALSAR orbit 428 dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4. 32 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 428

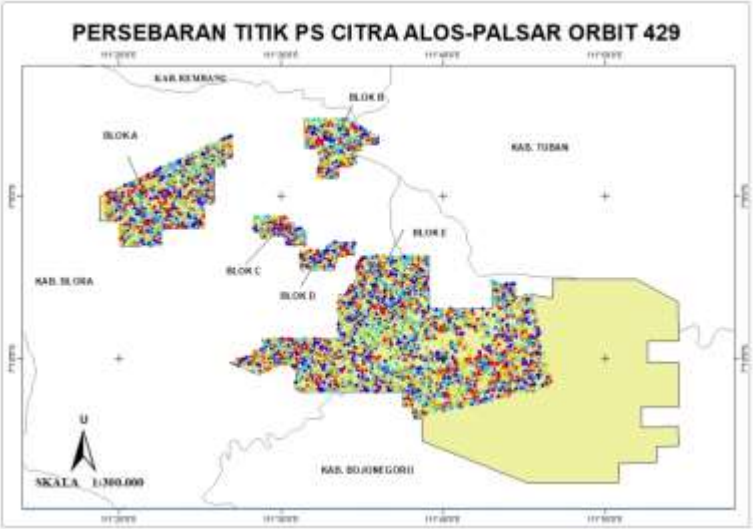
Titik-titik PS hasil pengolahan menggunakan SarProz menunjukkan *velocity*/kecepatan deformasi dalam LOS (*Line Of Sight)* dalam satuan mm/tahun. Titik PS dari hasil olahan citra ALOS PALSAR orbit 428 hanya meliputi sebagian dari Blok E pada Blok Cepu dikarenakan terbatasnya sapuan area dari orbit tersebut.



Gambar 4. 33 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra ALOS-PALSAR Orbit 428

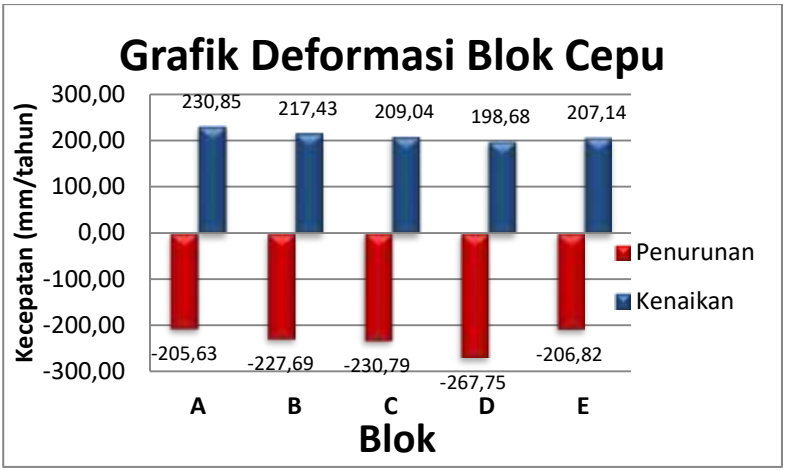
Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada hasil pengolahan citra ALOS PALSAR pada orbit 428, terjadi penurunan permukaan tanah/deflasi dengan rata-rata laju sebesar 173,50 mm/tahun.

Pada pengolahan citra ALOS PALSAR orbit 429 menghasilkan sebaran titik PS setelah dilakukan subset pada daerah penelitian sebanyak 7.457 titik sebagai berikut. Peta persebaran titik PS ALOS-PALSAR orbit 429 dapat dilihat pada Lampiran 3



Gambar 4. 34 Sebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 429

Pengolahan citra ALOS PALSAR orbit 429 mencakup seluruh blok dari Blok Cepu kecuali Blok E yang hanya terliput sebagian karena keterbatasan sapuan citra. Kemudian kecepatan/*velocity* pergerakan titik-titik PS di rata-rata dan menghasilkan grafik berikut di bawah.



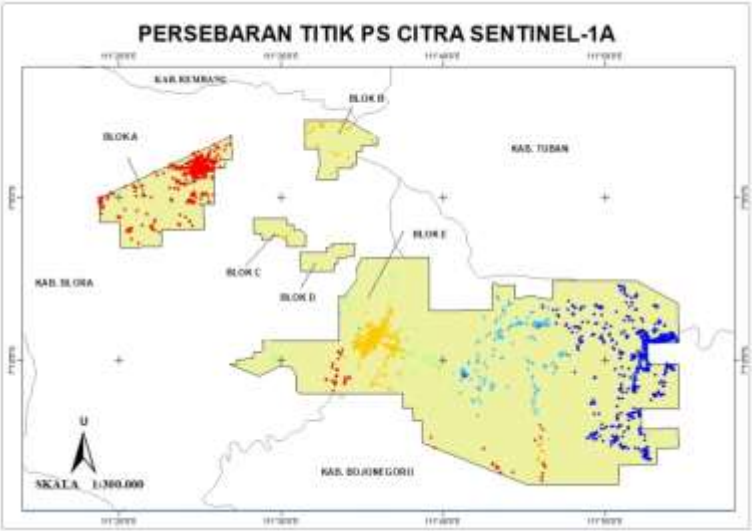
Gambar 4. 35 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra ALOS-PALSAR Orbit 428

Deformasi baik kenaikan maupun penurunan tanah terjadi di semua blok dengan rata-rata kecepatan penurunan tertinggi terdapat di blok D yakni sebesar -267,75 mm/tahun sedangkan rata-rata kecepatan kenaikan tanah tertinggi terjadi di blok A sebesar 230,85 mm/th.

Hasil pengolahan citra ALOS PALSAR dalam penelitian ini tidak dapat dijadikan referensi terkait penurunan dan kenaikan tanah yang terjadi dikarenakan jumlah citra yang digunakan tidak sesuai dengan syarat minimum pengolahan metode PS-InSAR. Menurut Virk, Singh, dan Mittal (2019), dalam metode PS-InSAR minimal dibutuhkan 20 citra untuk memonitor pergerakan deformasi linier. Penggunaan jumlah citra yang banyak berfungsi untuk dapat melakukan koreksi atmosfer dengan baik. Dalam hal ini jumlah citra yang digunakan hanya sedikit dan memiliki baseline yang jauh. Baseline yang jauh akan berpengaruh terhadap nilai koherensi pada interferogram sehingga akan berkaitan dengan nilai *displacement* yang didapat dari beda fase dari interferogram tersebut.

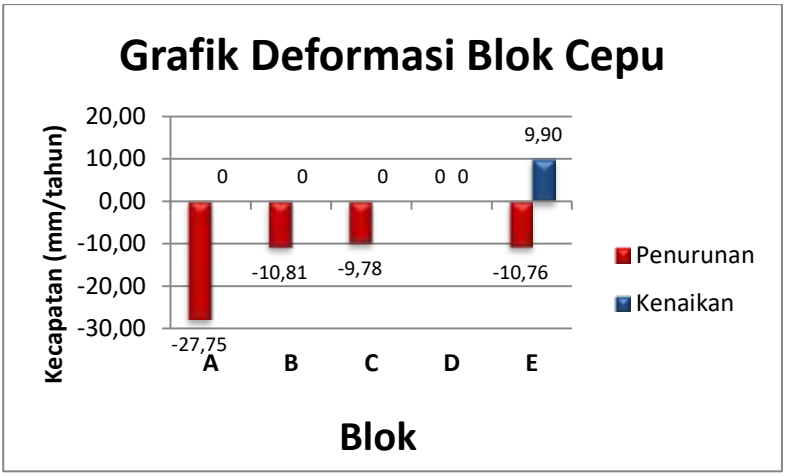
4.2.2 Sebaran Titik PS Citra Sentinel-1A

Pengolahan citra Sentinel-1A setelah dilakukan subset pada wilayah penelitian menghasilkan persebaran titik-titik PS sebanyak 2.281 titik sebagai berikut:



Gambar 4. 36 Sebaran Titik PS Citra Sentinel-1A

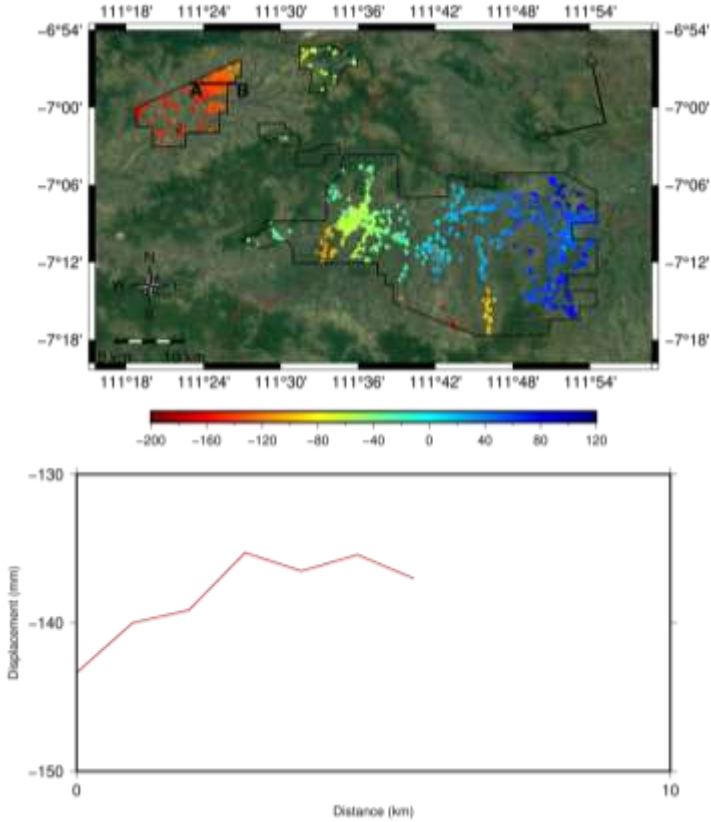
Dari gambar di atas, deformasi terjadi di hampir seluruh blok, kecuali pada Blok D. Titik PS di atas menunjukkan kecepatan/*velocity* deformasi dalam LOS dengan satuan mm/tahun. Peta persebaran titik PS dari hasil Citra Sentinel-1A dapat dilihat di Lampiran 1.



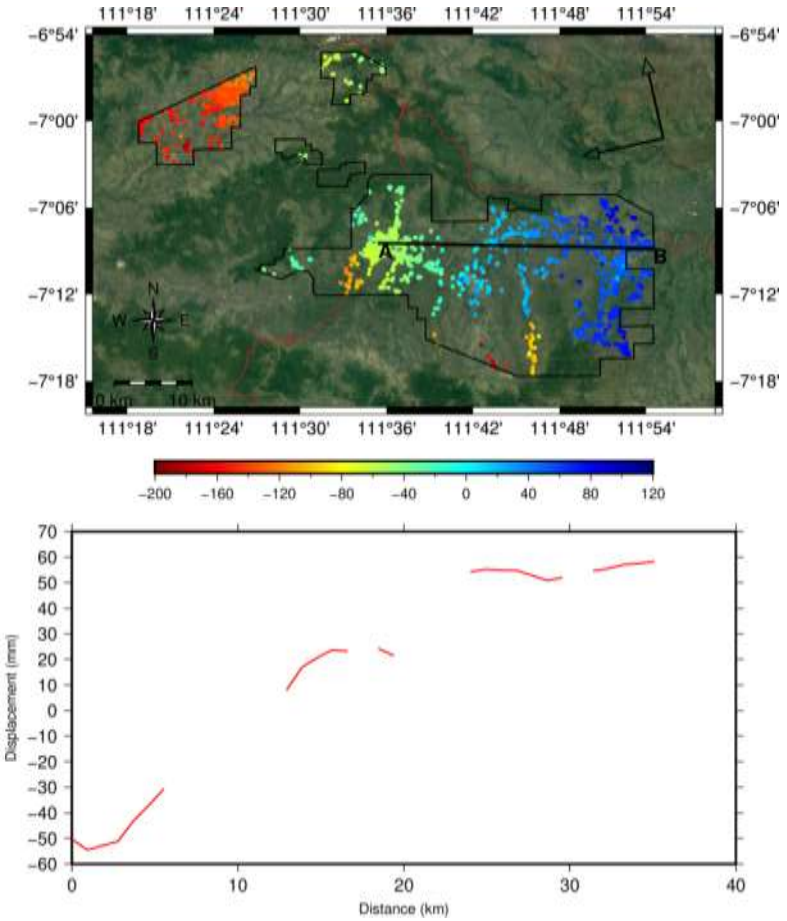
Gambar 4. 37 Grafik Rata-rata Kecepatan Deformasi Citra Sentinel-1A

Gradasi deformasi sangat terlihat dari persebaran titik PS pada gambar 4.35, mulai dari Blok A yang mengalami penurunan tanah/deflasi paling besar dengan rata-rata laju mencapai -27,75 mm/tahun hingga Blok E yang mengalami kenaikan tanah/inflasi dengan rata-rata laju sebesar 9,90 mm/tahun. Dari hasil potongan melintang pada blok A seperti yang tercantum dalam Gambar 4.36, dimana penurunan tanah paling besar terjadi di wilayah tersebut, nilai *cumulative displacement* berkisar antara -137 mm hingga -143,36 mm. Pada wilayah yang secara administratif terletak di wilayah Kabupaten Blora ini terdapat 133 sumur minyak yang berproduksi hingga sekarang. Banyaknya sumur minyak diidentifikasi dapat memicu terjadinya penurunan tanah di wilayah tersebut. Perhitungan nilai *cumulative displacement* ini didapatkan dari penjumlahan seluruh *linear deformation* dari posisi 0 (titik referensi) ke masing-masing titik PS. Pada potongan melintang di Blok E seperti pada gambar 4.37, terlihat pola deformasi dari sebelah barat hingga sebelah timur blok tersebut. Semakin ke arah timur pergerakan tanah menunjukkan

dari adanya *subsidence*/penurunan hingga ke timur semakin mengalami *uplift*/kenaikan tanah. *Cumulative displacement* yang terhitung berkisar antara -60mm hingga 70 mm sepanjang profil melintang tersebut. Garis tidak saling menyambung pada plottingan melintang dikarenakan adanya kekosongan data berupa tidak adanya titik PS pada garis melintang tersebut.



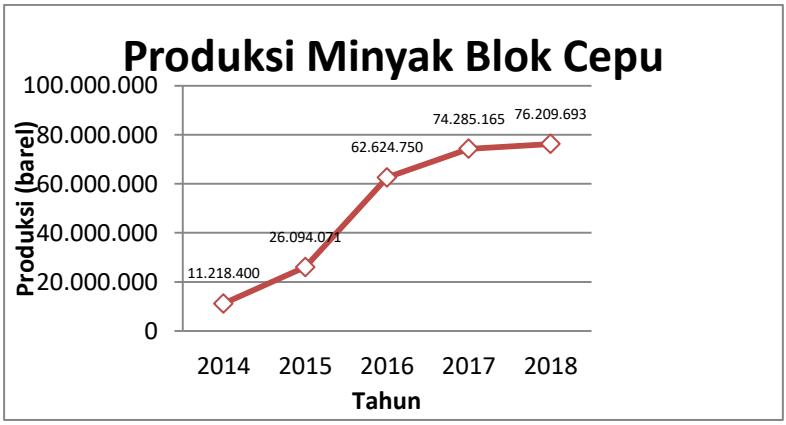
Gambar 4. 38.Profil Melintang Blok A Cepu



Gambar 4. 39. Profil Melintang Blok E Cepu

Berdasarkan hasil pengolahan yang di ekstrak menjadi data tabular, penurunan tanah tertinggi terjadi hingga -38,83 mm/tahun yang terdapat di Blok A. Penurunan tanah yang terjadi dapat berhubungan dengan banyaknya produksi minyak bumi yang dihasilkan Blok Cepu seperti pada gambar 4.38 berikut. Produksi minyak dari tahun 2014 makin meningkat dari awal mula sekitar 11 ribu barel hingga mencapai 76 ribu barel pada

tahun 2018 dari lahan seluas 918,19 km^2. Hal ini selaras dengan penelitian dari Chaussard (2013) yang menyatakan bahwa proses penurunan tanah di Indonesia yang disebabkan karena pengambilan bahan cair dari dalam tanah berkaitan/berkorelasi dengan *spatial pattern* dari penurunan tanah dan penggunaan lahan di wilayah tersebut. *Spatial pattern* yang terbentuk mulai dari besar hingga menengah, dimana skala besar mengacu pada area yang memiliki luas lebih dari 100 km^2. Penggunaan lahan yang dimaksud adalah penggunaan lahan untuk industri, agrikultur, dan campuran (industri-perumahan), dimana Blok Cepu berarti masuk dalam kategori penggunaan lahan untuk industri. Dilihat dari total luasnya dan tipe penggunaan lahannya, maka karakteristik tersebut memenuhi persyaratan proses penurunan tanah dikarenakan pengambilan bahan cair berupa eksploitasi minyak sesuai penelitian dari Chaussard (2013).

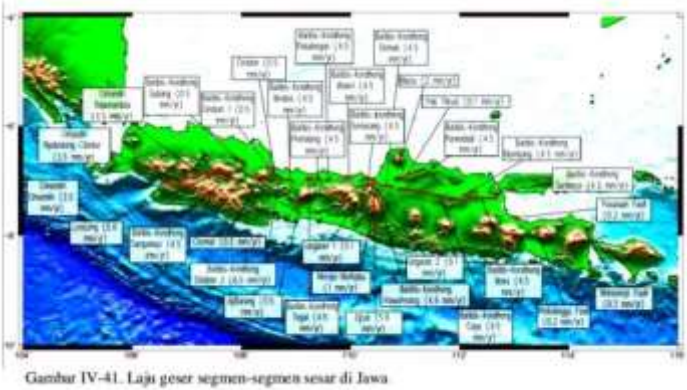


Gambar 4. 40. Produksi Minyak Blok Cepu (PT. Pertamina EP Cepu)

4.2.3 Analisis Terhadap Kondisi Geologi

Secara umum, daerah Cepu dan sekitarnya terletak di Zona Rembang, Cekungan Jawa Timur Utara (Van Bemmelen, 1949). Sejarah perkembangan tektoniknya mengikuti perkembangan tektonik yang ada di Jawa Timur, yang bisa

dipelajari sejak zaman kapur akhir sampai sekarang. Pada Zaman Paleogen, Cekungan Jawa Timur Utara telah mengalami Regim Tektonik regangan yang merupakan akibat dari gerakan mundur (“roll back”) kearah selatan dari jalur magmatik yang ada pada Zaman Kapur Akhir. Akibatnya busur magmatik yang semula menempati posisi di Pulau Karimunjawa dan Pulau Bawean pada arah barat daya-timur laut menjadi bergeser ke arah barat-timur pada posisi di pantai selatan Jawa Timur. Sedangkan pada Zaman Neogen posisi busur magmatik berada pada daerah sebelah utara Kabupaten Pacitan – Trenggalek dan menerus ke timur, dengan arah busur magmatik tetap barat – timur. Perubahan gerakan maju dari busur magmatik Zaman Neogen ini menyebabkan terjadinya Regim Tektonik kompresi yang menghasilkan struktur geologi lipatan dan sesar di daerah Cekungan Jawa Timur Utara, dimana kedua faktor tersebut merupakan faktor utama didalam pembentukan sistem minyak bumi (Tryono, 2015). Sesar yang terdapat di sepanjang Zona Rembang juga tergolong aktif. Hal ini dibuktikan dengan adanya beberapa peristiwa gempa bumi yang bersumber dari aktivitas sesar tersebut seperti gempa bumi yang terjadi pada Desember 2019. Menurut BMKG (2019), total sudah terjadi 3 kali gempa di wilayah antara Pati, Lasem, dan Blora yakni pada 18 Desember 2019 pukul 12.19.31 WIB dengan magnitudo 2,9, lalu pada pukul 20.33.04 WIB pada hari yang sama dengan kekuatan 2,7 magnitudo, serta pada 25 Desember 2019 dengan magnitudo 3,6. Dilihat dari lokasi episenternya, ketiga gempa tersebut tepat berada pada jalur Sesar Naik Pati. Sesar Pati adalah sesar dengan kelurusan yang panjang, berarah barat daya-timur laut yang membentang dari selatan Semarang ke arah timur laut melewati daerah Lasem dan menerus ke Laut Jawa. Struktur Geologi yang membentang di daerah rembang hingga Madura memiliki sifat tektonik yang lebih kuat dari pada di lajur Kendeng (Sukardi 1992). Dengan adanya beberapa sesar yang berada di sekitar Blok Cepu seperti Sesar Pati dan segmen sesar Baribis-Kendeng-Cepu dapat memicu terjadinya gempa bumi yang bisa menimbulkan terjadinya deformasi.



Gambar 4. 41 Sesar Jawa (Irsyam dkk, 2017)

Blok Cepu terbentuk di atas beberapa formasi batuan seperti Formasi Wonocolo, Formasi Tambakromo, Formasi Selorejo, Formasi Ngrayong, Formasi Mundu, Formasi Lidah, Formasi Ledok, Formasi Bulu, dan lapisan alluvial. Namun sebagian besar wilayah Blok Cepu didominasi oleh Formasi Tambakromo dan lapisan alluvial.

Pada hasil pengolahan citra Sentinel-1A, penurunan tanah/deflasi terjadi di seluruh Blok Cepu, kecuali pada Blok D. Pada Blok E selain terjadi penurunan tanah juga terjadi kenaikan tanah/inflasi. Penurunan tanah paling besar dan merata terdapat di Blok A seperti yang terlihat pada Lampiran 1. Jika dilakukan overlay antara lapisan geologi dengan sebaran titik PS pada blok A dan barat daya Blok E yang mengalami penurunan tanah cukup tinggi dibanding yang lain seperti pada Lampiran 5, maka sebagian besar persebaran titik PS berada pada lapisan tanah alluvial. Tanah alluvial merupakan jenis tanah yang memiliki permeabilitas yang umumnya lambat dan peka terhadap erosi (Muthmainnah, 2016). Menurut Chaussard (2013), sebagian besar kasus penurunan tanah di Indonesia terjadi dikarenakan proses kompaksi dari lapisan yang kompresibel. Tanah alluvial merupakan lapisan yang kompresibel, yang tidak terkonsolidasi

dengan porositas awal yang tinggi. Lapisan kompresibel biasanya dapat ditemukan di permukaan, sering ditemukan di dekat muara sungai, sepanjang teluk, dan endapan rawa atau laguna. Hal ini sesuai dengan kondisi di lapangan dimana sebelah barat Blok E yang mengalami penurunan tanah, terdapat Sungai Bengawan Solo yang melintasi wilayah tersebut. Jika dilihat menggunakan Google Earth seperti pada gambar 4.40 dan 4.41, persebaran titik pada Blok A dan sebelah barat Blok E sebagian besar berada pada wilayah pemukiman padat, tepatnya berada di wilayah pusat Kabupaten Blora dan Kecamatan Cepu. Pada dasarnya tipe tanah alluvial memiliki kerentanan terhadap daya topang beban (resistensi bobot) di atasnya (Ulin, 2018). Beban bangunan yang berat dikarenakan adanya pemukiman yang padat yang dibangun di atas tanah alluvial diidentifikasi menjadi penyebab terjadinya penurunan tanah di wilayah Blok A dan sebelah barat Blok E. Jika kawasan tanah alluvial dilakukan aktivitas pembangunan dalam skala besar, maka akan menimbulkan cepatnya laju penurunan tanah di kawasan tersebut (Resmi, 2016).

Gambar 4. 42 Penampakan Persebaran PS di Blok A melalui Google Earth

Gambar 4. 43. Penampakan Persebaran PS di Sebelah Barat Blok E

Sedangkan pada blok B dan C didominasi oleh lapisan Formasi Wonocolo, Formasi Mundu, dan Formasi Ledok. Formasi Ledok memiliki jenis tanah berupa batupasir, dimana jenis tanah berpasir lebih stabil jika dibandingkan dengan tanah alluvial (Resmi, 2016). Oleh karena itu penurunan tanah yang terdapat pada blok B dan C tidak sebesar pada Blok A. Pada blok D tidak terdeteksi titik PS yang diidentifikasi karena wilayah Blok D memiliki vegetasi yang tinggi sehingga dimungkinkan sinyal radar Sentinel-1A tidak dapat menembus vegetasi tersebut.

Gambar 4. 44 Penampakan Wilayah Blok D di Google Earth

Sedangkan titik PS pada wilayah blok E sebelah timur menunjukkan terjadinya kenaikan tanah. Jika dilihat menggunakan Google Earth titik PS kebanyakan terdeteksi pada wilayah pemukiman padat di Kabupaten Bojonegoro. Kemungkinan selama periode akuisisi citra, perumahan tersebut baru mulai berkembang sehingga citra SAR pada akuisisi waktu paling awal mendeteksi belum terdapat objek buatan berupa bangunan lalu seiring berjalannya waktu pembangunan terus terjadi dan ketika citra yang diakuisisi pada waktu akhir sudah mendeteksi adanya objek bangunan sehingga SAR menganggapnya sebagai *uplift*/kenaikan tanah.

Gambar 4. 45 Penampakan Persebaran PS di Sebelah Timur Blok E

Selain dikarenakan terdapatnya pemukiman, wilayah ini, sebagaimana tercantum dalam bab II, masuk dalam Zona Rembang. Zona Rembang merupakan suatu zona perbukitan antiklinorium yang memanjang dengan arah timur-barat di sisi timur laut Pulau Jawa (Husein dkk, 2015). Antiklinorium Rembang terbagi menjadi dua yakni Antiklinorium Rembang Utara dan Antiklinorium Rembang Selatan (van Bemmelen, 1949). Antiklinorium Rembang Selatan juga dikenal sebagai Antiklinorium Cepu, dibentuk oleh beberapa macam antiklin

seperti Antiklin Jamprong, Antiklin Gabusan, dan Antiklin Kawengan. Secara geografis wilayah ini terdapat pada struktur Antiklin Kawengan. Struktur Antiklin Kawengan terletak sekitar 20 km Cepu, termasuk di daerah Bojonegoro, Jawa Timur (Hariyadi dkk, 2016). Antiklin Kawengan dimodelkan sebagai pelipatan yang tidak dikendalikan oleh batuan dasar, dimana pelipatan lebih disebabkan oleh kehadiran sesar anjak/*thrust faulting* (Soeparyono dan Lennox,1989). Sesar antiklin merupakan lipatan yang cembung ke arah atas sehingga keadaan ini bisa menjadi salah satu faktor terjadinya kenaikan muka tanah (Muthma'innah,2018). Dengan adanya sesar antiklin yang berada di Bojonegoro diidentifikasi menjadi salah satu penyebab terjadinya kenaikan tanah di area tersebut. Antiklin merupakan perangkap struktural paling utama dalam eksplorasi hidrokarbon di Zona Rembang ini (Husein dkk, 2015). Oleh karena itu, dalam Blok E ini banyak terdapat lapangan sumur minyak bumi antara lain seperti lapangan Banyu Urip, lapangan Kedung Keris, dan lapangan Wonocolo.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN ANALISIS

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penelitian tugas akhir ini:

a. Penerapan metode PS-InSAR untuk mengestimasi penurunan di wilayah Blok Cepu dapat dilakukan dengan baik pada daerah penelitian dengan menggunakan citra satelit Sentinel-1A. Hasil pengolahan PS-InSAR dengan citra satelit ALOS-PALSAR dalam penelitian ini tidak dapat dijadikan referensi terkait penurunan dan kenaikan tanah dikarenakan beberapa persyaratan metode PS-InSAR yang tidak terpenuhi dari set data ALOS-PALSAR yang digunakan.
b. Hasil pengolahan dengan software SarProz didapatkan *velocity rate* atau laju deformasi dalam LOS wilayah Blok Cepu dimana hampir semua wilayah mengalami deformasi kecuali pada blok D yang tidak terdapat titik PS. Laju penurunan tanah terbesar terdapat di blok A dengan kecepatan hingga -27,75 mm/tahun diikuti dengan blok B dengan laju -10,81 mm/tahun, lalu blok E dengan laju -10,76 mm/tahun, dan blok C dengan laju -9,78 mm/tahun. Kenaikan tanah juga terjadi tepatnya di sebelah timur blok E yang memiliki laju kenaikan sebesar 9,90 mm/tahun.
c. Deformasi baik berupa penurunan maupun kenaikan tanah di Blok Cepu dapat disebabkan karena banyak faktor. Struktur pembentuk tanah memiliki kaitan erat dengan peristiwa tersebut. Adanya struktur geologi berupa sesar dan antiklin juga dapat menjadi penyebab

terjadinya deformasi. Selain itu faktor non alamiah berupa beban bangunan yang berat juga dapat memberikan kontribusi terhadap deformasi yang terjadi.

5.2 Saran

Berdasarkan pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

a. Dalam pengolahan PS-InSAR sebaiknya menggunakan citra satelit dalam jumlah yang banyak yakni lebih dari 25 citra dan memiliki *baseline* yang lebih rapat agar memberikan hasil yang lebih baik, serta dianjurkan menggunakan citra dengan panjang gelombang yang lebih tinggi seperti L-band agar memiliki daya tembus terhadap vegetasi yang lebih baik dibanding C-band
b. Pada penelitian selanjutnya dianjurkan menggunakan data pendukung seperti data lokasi sumur minyak, kedalaman sumur pengeboran, serta volume minyak yang dikeluarkan untuk dapat melakukan analisis lebih dalam
c. Dianjurkan untuk menggunakan data pembanding dari metode pengamatan lainnya untuk melakukan uji validasi dan mengetahui keakuratan metode PS-InSAR yang telah dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

Abidin H.Z., dkk. 2005. Monitoring Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) Using Leveling, GPS Survey and InSAR Techniques. In: Sansò F. (eds) A Window on the Future of Geodesy. International Association of Geodesy Symposia, vol 128. Springer, Berlin, Heidelberg

Adi, dkk. 2008. Phase Unwrapping Citra Insar Menggunakan Pendekatan Minimisasi Energi Lokal. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Aditya. 2017. *Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 Over Surabaya City, Indonesia.* Cibinong: Badan Informasi Geospasial

Aji, Prasetyo, dan Awaluddin. 2018. Studi Sesar Lembang Menggunakan Citra Sentinel-1A untuk Pemantauan Potensi Bencana Gempa Bumi. Jurnal Geodesi Undip volume 7, nomor 4, 2018

Arvirianty, A. 2019. Ada Cadangan Baru, Blok Cepu Jadi Ladang Raksasa Minyak RI. https://www.cnbcindonesia.com/news/20190811154338-4-91179/ada-cadangan-baru-blok-cepu-jadi-ladang-raksasa-minyak-ri. Diakses pada 24 November 2019

Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora. 2018. Kabupaten Blora Dalam Angka. Blora: Badan Pusat Statistik Kabupaten Blora

Bhatta, N. P. 2016. RADAR and it's Applications. Jain University

Bemmelen, R.W. 1949. The Geology of Indonesia, Vol. I A. Gov. Printing office, Martinus Nijhoff, The Hague

Bouraoui, S. 2013. Time Series Analysis of SAR Images Using Persistent Scatterer (PS), Small Baseline (SB) and Merged Approaches In Regions With Small Surface Deformation. Doctor Thesis, Université de Strasbourg, Strasbourg: HAL

Bovenga, F., dkk. 2012. Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. Remote Sens. Environ. 119, 272–285.

Canaslan, Fatma dan Ustun, Aydin. 2012. Impact of Perpendicular and Temporal Baseline Characteristics on InSAR Coherence Maps. Roma: FIG Working Week, 6-10 Mei 2012

Chaussard Estelle, dkk. 2013. Sinking Cities in Indonesia: ALOS PALSAR Detects Rapid Subsidence Due To Groundwater and Gas Extraction. Remote Sensing of Environment 128 (2013) 150-161

CCRS (*Canada Centre for Remote Sensing*). 2014. *Fundamental of Remote Sensing*, [diunduh online]dari:http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

Datun M., Sukandarrumidi, Hermanto B., dan Suwarna N. 1996. Peta Geologi Lembar Ngawi, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung

Dinayah. 2018. Studi Korelasi Kapasitas Akuifer terhadap Penurunan Muka Tanah dengan Metode PS-InSAR (Studi Kasus: Kota Semarang). Semarang: Universitas Diponegoro

ESA. 2012. SENTINEL-1: ESA's Radar Observatory Missions for GMES Operational Services. European Space Agency

ESA. 2013. Dalam: Sentinel-1 User Handbook. s.l.:European Space Agency, pp. 9-50

ESA. 2015. Sentinel-1 Data Access and Products. European Space Agency

ESA. 2016. ESA 2016. "Sentinel 1 Product Mode" <URL : https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes> . diakses pada 27 November 2019

ExxonMobil. 2019. Blok Cepu. http://www.exxonmobil.co.id. Diakses pada 24 November 2019

Fárová, K., Jelének, J., Kopaˇcková-Strnadová, V., Kycl, P. (2019). Comparing DInSAR and PSI Techniques Employed to Sentinel-1 Data to Monitor Highway Stability: A Case Study of a Massive Dobkoviˇcky Landslide, Czech Republic. Remote Sensing MDPI , 11, 2670

Ferretti, C. Prati and F. Rocca. 1999. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'99 (Cat. No.99CH36293), Hamburg, Germany, 1999, pp. 1528-1530 vol.3, doi: 10.1109/IGARSS.1999.772008.

Ferreti, A., Prati, C., dan Rocca, F. 2000. Analysis of Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39, 2:761-763

Ferretti, A.; Prati, C.; Rocca, F. 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2001, 39, 8–20.

Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca, F. 2003. Reference Documents, Privacy Online, 35-377.

Ferretti dkk. 2007. Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, no. 5, pp. 1142-1153, May 2007, doi: 10.1109/TGRS.2007.894440.

Fielding Eric J., Ronald G. Blom, Richard M. Goldstein. 1998. Rapid Subsidence Over Oil Fields Measured by SAR Interferometry. Geophysical Research Letters, vol. 25, no. 17, pages 3215-3218

Galloway D., Jones D. R., dan Ingebristen, S.E.(1999): *Land Subsidence in Tthe United States.* US Geological Survey, New York, 1182, 1-25

Gutierrez dkk. 2011. "*Integrating Geomorphological Mapping, Trnching, InSAR, and GPR for The Identification and Characterization of Sinkholes: A Review and Application in The Mantled Evaporite Karst of The Ebro Valley (NE Spain)*". *Geomorphology* Vol 134:144–56.

Hanssen R. 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. London: Kluwer Academic Publisher. The Netherlands:Delft University of Technology

Haghighi, M. H. & Motagh, M., 2017. Sentinel-1 InSAR over Germany: Large-Scale Interferometry, Atmospheric Effects, and Ground Deformation Mapping. 4, pp. 245-256.

Haniah dan Prasetyo, Y. 2011. Pengenalan Teknologi Radar untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis. Jurnal Teknik Vol. 32 No. 2. Semarang: Universitas Diponegoro

Hardi, Ayu Hernasari. 2008. "Studi Pemanfaatan Band Yang Berbeda Pada InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)." Institut Teknologi bandung

Hariyadi, dkk. 2016. Struktur Antiklin Kawengan Sebagai Salah Satu Titik Geosite Pada Geoheritagebojonegoro. Prosiding LPPM UPN "VETERAN", Yogyakarta

Husein S., Kakda K., Aditya, HFN. 2015. Mekanisme Perlipatan En Echelon Di Antiklinorium Rembang Utara. Prosiding Seminar Nasional Kebumian ke-8 Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Husein, Salahuddin. 2016. *Fieldtrip* Geologi Cekungan Jawa Timur Utara. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Hooper, A dkk. 2018. StaMPS/MTI Manual Version 4.1b. Leeds: University of Leeds.

Husein, Salahuddin. 2016. *Fieldtrip* Geologi Cekungan Jawa Timur Utara. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Itsmiss. 2018. Kenali Karakteristik Tanah Surabaya, Minimalkan Dampak Gempa. https://www.its.ac.id/news/2018/10/12/kenali-karakteristik-tanah-surabaya-minimalkan-dampak-gempa/. Diakses pada 24 November 2019

Irsyam, Masyhur dkk. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Tim Pusat Studi Gempa Nasional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman

JAXA. 2006. ALOS Data Application to Landslide and Earthquake. Earth Observation Reserach and Application Centre, Japan.

Kuehn dkk. 2009. *Detection of Land Subsidence in Semarang, Indonesia Using Persistent Scatterer Interferometry*. Hannover, Germany

Lusch, Davis P. 1999. "*Introduction to Microwave Remote Sensing Lusch*". Michigan State University: Center For Remote Sensing and Geographic Information Science

Marfai dan King. 2006. Impact Of The Escalated Tidal Inundation Due to Land Subsidence in a Coastal Environment. Nat Hazards (2008) 44:93–109

Meier, E., Frei, U, dan Nuesch, D. 1993 'SAR Geocoding: Data and Systems' dalam Schreier, G. (ed.) Karlsruhe: Wichmann.

Muthmainnah, N. U. 2018. Analisis Deformasi Pulau Madura dari Pengolahan Data SAR Menggunakan Metode DINSAR. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Naryanto. 2018. Analisis Patahan Bawah Permukaan dari Pengukuran Geolistrik Untuk Antisipasi Bencana Gempa di Kabupaten Grobogan. Tangerang Selatan: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Nasda. 2005. *Application ALOS-Advanced Land Observing Satellite*. National Space Development Agency of Japan, Japan

Noferini L., Pieraccini M., Mecatti D., 2007. Using GBSAR Technique to Monitor Slow Moving Landslide. Engineering Geology, 2007, 95, pp.88-98

Osawa, Y. 2005. *Characteristics of the ALOS for Applications in Disaster Management*. Asian WS on Satellite Technology Data Utilization for Disaster Monitoring . JAXA, Japan

Panjaitan. 2010. Prospek Migas pada Cekungan Jawa Timur dengan Pengamatan Metode Gaya Berat. Buletin Sumber Daya Geologi Volume 5 Nomor 3, Pusat Survei Geologi, Bandung

Perissin, D. 2015. What is SARProz. https://www.sarproz.com/faqs/sarproz-faqs/. Diakses pada 11 Juli 2020

Pertamina EP Cepu. 2018. Laporan Tahunan 2018

Prasetyo, Y. 2014. Analisis Optimasi dan Estimasi Penentuan Penurunan Muka Tanah Menggunakan Teknik Light Permanet Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (LPS-InSAR) (Studi Kasus: Cekungan Bandung). Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB

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. Jurnal Teknik 35(2), 78-85. Semarang: Universitas Diponegoro

Pringgoprawiro, H. 1983. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dan Paleogeografinya: sebuah pendekatam baru. Disertasi Doktor. ITB.

Pringgoprawiro dan Sukido. 1992. Peta Geologi Lembar Bojonegoro, skala 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung

Qin, Y. 2018. Demo : APS Estimation & Multi- temporal analysis with Sarproz. Sarproz processing tutorial series. *Tutorial and Exercises*, 75.

Resmi, ALC. 2016. Analisis Land Subsidence Menggunakan Teknik Differential Interferometry Syntetic Aperture Radar (Dinsar) (Studi Kasus: Kota Surabaya, 2009-2011). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Rocca, F., 2004. Diameters of the orbital tubes in long-term interferometric SAR surveys. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 1 (3), 224–227.

Sabins Jr., Floyd F. 1986. *Remote Sensing Principles and Interpretation: Second Editon.* California: W.H. Freeman and Company

Sampurno, Ahmad. 2019. 133 Sumur Minyak Tua Blora Berproduksi. https://www.suarabanyuurip.com/index.php?/kabar/baca/133-sumur-minyak-tua-blora-berproduksi. Diakses pada 9 Juni 2020

Saputro, Andik Saputro. 2012. Deteksi Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Dengan Teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (Dinsar) Menggunakan Software Roi_Pac Berbasis Open Source. Jurnal Geodesi Undip Volume 1 Nomor 1 tahun 2012. Semarang: Universitas Diponegoro

Schubert, A. Dkk. 2015. *Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning*. Remote Sens, Volume 7, pp. 9431-9449.

Soeparyono, N., and P.G. Lennox (1989) Structural Development if Hydrocarbon Traps in the Cepu Oil Field, Northeast Java, Indonesia. Proceeding of 18th Annual Convention

and Exhibition of Indonesian Petroleum Association, pp. 139-156

Sudiana Dodi, dkk. 2014. Analysis of Land Deformation on Slope Area using PS InSAR. Case Study: Malang Area. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 19, 2013 International Conferences on Geological, Geographical, Aerospace and Earth Sciences (AeroEarth 2013) 23–24 January 2014, Jakarta, Indonesia

Sudiana. 2014. *Analysis of Land Deformation on Slope Area using PS INSAR. Case Study: Malang Area.* Depok: Universitas Indonesia

Sukardi 1992. "Geologi Lembar Surabaya, Sapulu, Jawa. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Suber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia.

Sumantyo, J.T.S., dkk. 2009. Long Term Continuously DInSAR for Volume Change Estimation of Land Deformation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, New York, p.1-11.

Sun He dkk. 2017. Monitoring Land Subsidence in the Southern Part of the Lower Liaohe Plain, China with a multi-track PS-INSAR Technique. Remote Sensing of Environment 188 (2017) 73-84

Sutanto. 1987. *Penginderaan Jauh:Jilid 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Tryono, F. Y. 2015. Lapangan Geologi Sebagai Sarana Diklat Bidang Migas. Swara Patra, 5(2). Retrieved from http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/134

Ulin, R. F. 2018. Penerapan Metode PS-INSAR (Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar) untuk Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Gresik, Jawa Timur. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Veci, Luis. 2016. Interferometry Tutorial. European Space Agency

Whittaker, B.N. dan Reddish. (1989). *Subsidence Occurrence, Prediction, and Control*. Belanda: Elsevier Science Publishing Company INC

Yang, Chia-Hsiang. 2019. Spatiotemporal Change Detection Based on Persistent Scatterer Interferometry – A Case Study of Monitoring Urban Area. Germany: Uiversity of Stuttgart

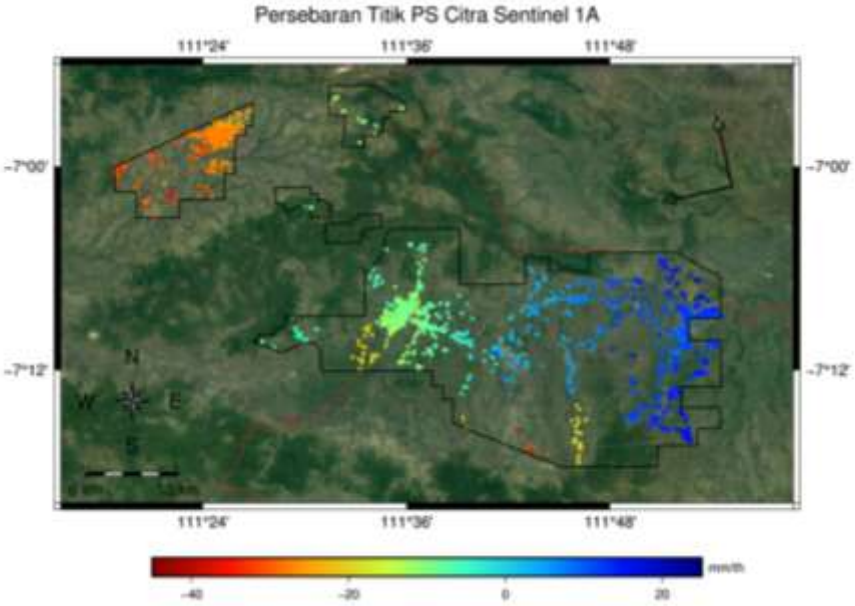
Yulyta Sendy Ayu, Muhammad Taufik, and Noorlaila Hayati. 2015. "Studi Pengamatan Penurunan Dan Kenaikan Muka Tanah Menggunakan Metode Differential Interferometri Synthetic Aperture Radar (DInSAR) (Studi Kasus : Lumpur Lapindo, Sidoarjo)." GEOID, 62–66.

Yulyta Sendy Ayu. 2018. Aplikasi Metode SBAS-DInSAR Menggunakan Data Sentinel-1a Untuk Pengamatan Penurunan Muka Tanah di Kota Surabaya. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

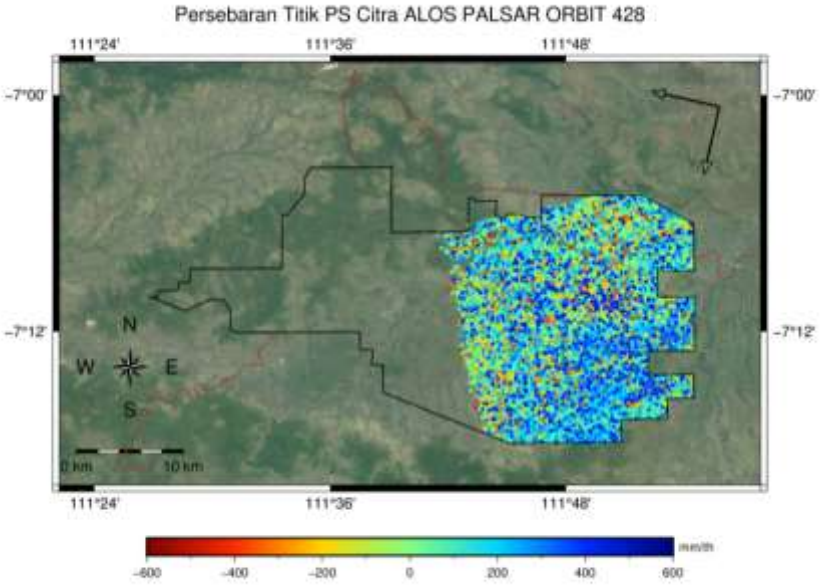
Zhou, X., Chang, N.-B. & Li, S., 2009. Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research. Remote Sens, Volume 9, pp. 1876-1912

Zuhelmi. 2017. Analisis Potensi Hidrokarbon Pada Daerah "X" Berdasarkan Pemodelan Data Gayaberat dan Magnetik. Lampung: Universitas Lampung

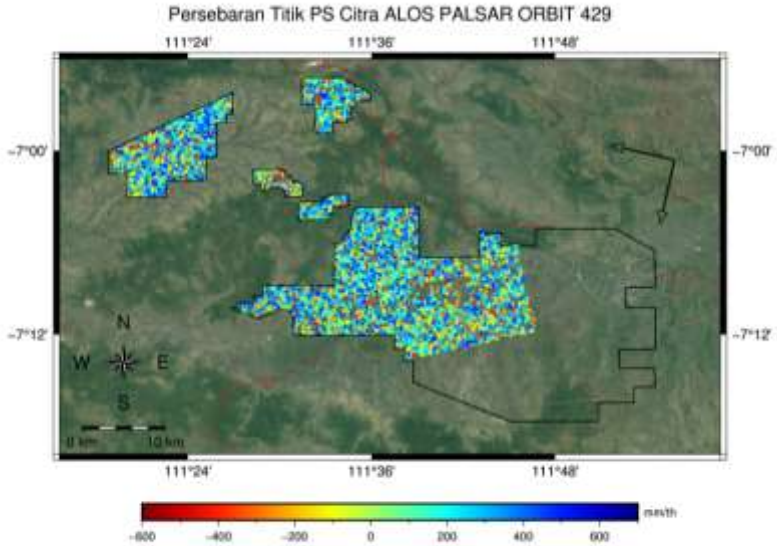
LAMPIRAN



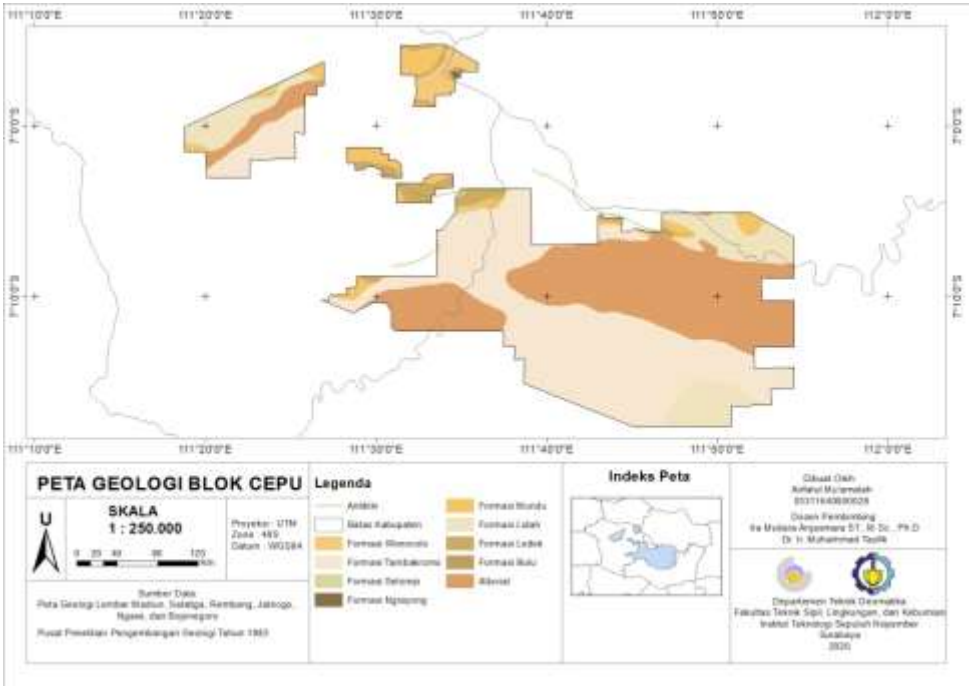
Lampiran 1. Peta Persebaran Titik PS Citra Sentinel-1A



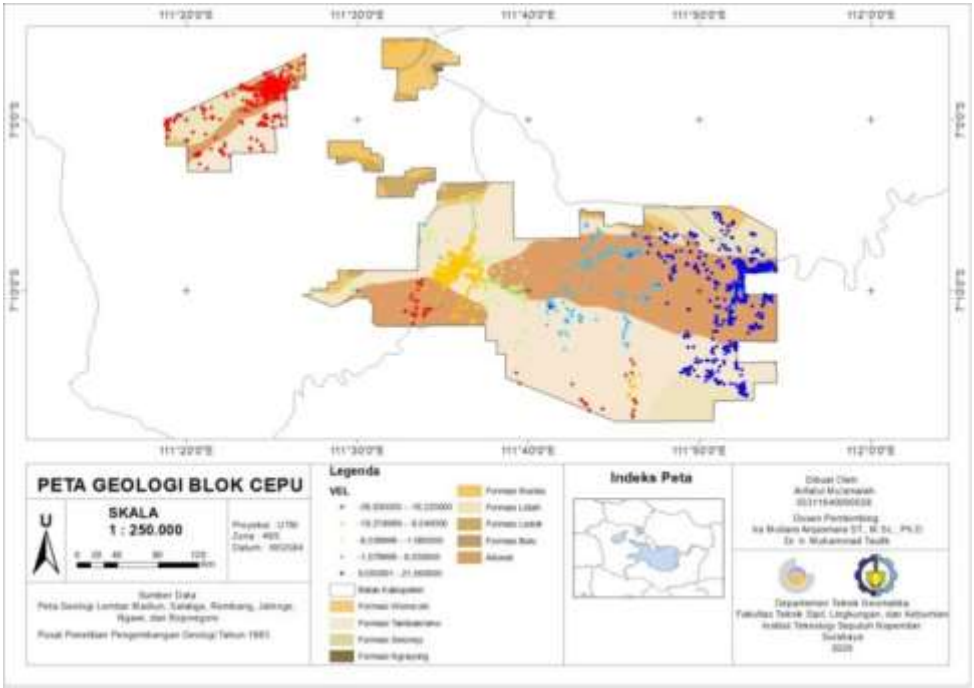
Lampiran 2. Peta Persebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 428



Lampiran 3. Peta Persebaran Titik PS Citra ALOS-PALSAR Orbit 429



Lampiran 4. Peta Geologi Blok Cepu



Lampiran 5. Overlay Peta Geologi dan Persebaran Titik PS

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kota Salatiga pada 29 Oktober 1998, anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD N Bener 02 (2004-2010), SMP N 2 Salatiga (2010-2013), dan SMA N 1 Salatiga (2013-2016). Setelah lulus SMA penulis memilih melanjutkan pendidikan jenjang S-1 dengan mengikuti program SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Geomatika, FTSLK, ITS pada tahun 2016. Penulis terdaftar dengan NRP 03311640000028. Selama kuliah di Teknik Geomatika penulis memilih bergabung dengan organisasi Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) dan diamanahi menjadi staff serta sekretaris dari Departemen Sosial Masyarakat pada tahun kedua dan ketiga perkuliahan. Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan baik dalam lingkup HIMAGE maupun dalam lingkup fakultas. Penulis pernah melaksanakan kerja praktik di Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung pada tahun 2019 dan akhirnya memutuskan mengambil bidang deformasi untuk dijadikan topik dalam tugas akhirnya.