

## ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH (*LAND SUBSIDENCE*) KOTA SEMARANG MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-1 BERDASARKAN METODE DINSAR PADA PERANGKAT LUNAK SNAP

Lukman Jundi Fakhri Islam, Yudo Prasetyo, Bambang Sudarsono<sup>\*)</sup>

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : lukmanjfi@gmail.com

### ABSTRAK

Kota Semarang adalah ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang mengalami perkembangan dan pertumbuhan kota yang pesat. Namun, jika ditinjau dari kondisi geologinya, Kota Semarang merupakan wilayah yang terbentuk dari endapan aluvial yang masih tergolong muda yang mana masih memungkinkan terjadinya kompaksi yang dapat menyebabkan fenomena penurunan muka tanah. Selain itu, pengambilan air tanah juga berkontribusi dalam proses penurunan muka tanah di Kota Semarang. Untuk mengurangi dampak negatif yang dapat ditimbulkan, maka diperlukan pemantauan terhadap fenomena tersebut sebagai bagian dari upaya mitigasi bencana. Salah satu metode pemantauannya adalah dengan memanfaatkan citra satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang digunakan dalam penelitian ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan muka tanah di Kota Semarang dengan metode DInSAR. Metode ini dipilih dikarenakan memiliki kemampuan untuk melakukan penilaian terhadap kawasan yang luas dengan waktu yang cepat. Data yang digunakan adalah 3 citra satelit Sentinel-1a level 1 yang diakuisisi pada tahun 2015-2016. Metode DInSAR yang digunakan adalah *two-pass interferometry* dengan *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 30 m sebagai referensi untuk topografi. Proses DInSAR ini diproses dengan menggunakan perangkat lunak sumber terbuka SNAP.

Dari penelitian ini diperoleh nilai penurunan tanah rata-rata Kota Semarang sebesar  $4,37 \pm 4$  cm/tahun. Wilayah yang mengalami penurunan rata-rata tertinggi berada di Kecamatan Genuk, Pedurungan dan Semarang Utara dengan nilai masing-masing sebesar  $10,35 \pm 1,02$  cm/tahun,  $8,31 \pm 2,36$  cm/tahun dan  $8,23 \pm 1,58$  cm/tahun. Untuk mengetahui ketelitian hasil DInSAR, dilakukan validasi yang diukur menggunakan GPS yang kemudian diperoleh standar deviasi sebesar 1,9 cm. Dari hasil penelitian ini juga diperoleh adanya korelasi antara penurunan muka tanah dengan perluasan area banjir rob dan susunan stratigrafinya. Korelasi dengan banjir rob tersebut ditunjukkan oleh adanya perluasan area banjir rob pada wilayah yang mengalami penurunan tertinggi di Kota Semarang. Adapun korelasi terhadap susunan stratigrafi terlihat jelas pada wilayah yang terbentuk dari aluvial, dimana pola penurunan yang terjadi cenderung mengikuti pola aluvial dengan nilai penurunan yang lebih besar dari daerah dengan susunan stratigrafi lainnya.

**Kata Kunci :** DInSAR, Kota Semarang, Penurunan Muka Tanah, Sentinel-1, SNAP

### ABSTRACT

*Semarang city is the capital of Central Java province that is experiencing growth and rapid urban growth. However, based on its geological condition, Semarang City is formed by young alluvial deposits in which still allows the compaction that can cause land subsidence. In addition, groundwater extraction also contributed in the process of land subsidence in the Semarang City. To minimize its damage, land subsidence monitoring is required as a part of natural disaster mitigation. One of methods to monitoring land subsidence is by utilize Synthetic Aperture Radar (SAR) satellite image which is used in this research.*

*The purpose of this research is to estimate the land subsidence in Semarang city using DInSAR method. This method is selected because of the ability to assess a wide area in a short time. The data used is 3 images Sentinel-1a level 1 which acquired between years 2015-2016. DInSAR method using two-pass interferometry with the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 30 m as a reference to the topography. DInSAR is processed using SNAP open-source software.*

*From this study, the average value of subsidence of Semarang City is  $4,37 \pm 4$  cm/year. The highest average subsidence is located in Sub-district Genuk, Pedurungan and North Semarang which each subsidence value is  $10,35 \pm 1,02$  cm/year,  $8,31 \pm 2,36$  cm/year and  $8,23 \pm 1,58$  cm/year. To know the DInSAR result's accuracy, GPS measurement is used to validate which resulted standard deviation of 1,9 cm. From the results of this study also found a correlation between subsidence with tidal inundation and stratigraphy composition. Correlation with the tidal inundation was shown by the expansion of tidal inundation in areas which experiencing the highest subsidence in Semarang City. The correlation of the stratigraphic composition is clearly visible on alluvial areas, where the pattern of subsidence that occurred tend to follow the alluvial pattern which has higher subsidence value than areas to the other stratigraphic composition.*

**Keywords:** DInSAR, Land Subsidence, Semarang City, Sentinel-1, SNAP

<sup>\*)</sup>Penulis, PenanggungJawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Permukaan bumi merupakan benda yang dinamis, yang mana gaya-gaya yang terjadi di sekitar permukaan bumi akan mempengaruhi bentuk bumi. Salah satu fenomena yang terjadi karena kedinamisan permukaan bumi ini adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang telah banyak terjadi di berbagai wilayah bumi khususnya di kota-kota besar yang berada di daerah pantai termasuk Kota Semarang.

Ada banyak faktor yang menyebabkan fenomena penurunan muka tanah di Kota Semarang. Salah satunya adalah kondisi geologi di Kota Semarang yang mana sebagian besar tanah, khususnya wilayah Semarang bagian bawah yang mengalami fenomena ini berasal dari endapan aluvial muda yang belum sepenuhnya terkompaksi (Sophian, 2010). Pengambilan air tanah yang berlebihan juga dapat membuat tanah menjadi lebih mudah ambles (*subsidence*) yang menyebabkan hilangnya *bouyancy* tanah akibat hilangnya air dalam pori sehingga tekanan permukaan menjadi lebih efektif.

Penurunan muka tanah juga menyebabkan fenomena lain seperti banjir rob dan kerusakan infrastruktur yang tentunya dapat menghambat perkembangan kota dan menimbulkan kerugian bagi masyarakat sehingga perlu dilakukannya upaya mitigasi. Salah satu diantaranya adalah dengan pemantauan fenomena penurunan muka tanah ini.

Pemantauan penurunan muka tanah di suatu wilayah dapat dikaji dengan beberapa metode geodesi, baik itu dengan pengukuran terestris seperti survei sipat datar (*levelling*), survei *Total Station* dan survei GPS (*Global Positioning System*), maupun dengan metode ekstraterestris yang saat ini banyak dikembangkan seperti teknologi LiDAR dan teknologi radar. Meskipun metode ekstraterestris ketelitiannya masih di bawah metode terestris, namun metode ini mampu melakukan pengamatan dan penilaian pada daerah yang luas dengan waktu yang lebih cepat. Salah satu metode teknologi radar yang digunakan dalam pemantauan penurunan muka tanah adalah DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah metode yang telah dikembangkan dengan baik selama beberapa dekade terakhir untuk pengamatan penurunan muka tanah dengan akurasi yang tinggi pada sentimeter. Selain itu, pengamatan dengan metode DInSAR ini dapat dilakukan dengan biaya yang rendah menggunakan citra SAR Sentinel-1 yang disediakan secara gratis dan diolah dengan perangkat lunak SNAP yang berbasis sumber terbuka (*open source*).

Dengan latar belakang tersebut, maka pentingnya penelitian pengamatan penurunan muka tanah menggunakan metode DInSAR dengan citra Sentinel-1 adalah hasil penelitian ini dapat menunjukkan pola dan kecepatan penurunan muka tanah di seluruh wilayah Kota Semarang dengan relatif cepat dan murah dibandingkan metode lainnya. Dengan adanya informasi tersebut, diharapkan upaya mitigasi yang lebih baik dapat dilakukan untuk meminimalkan berbagai kerugian yang dapat ditimbulkan.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, masalah yang dapat ditemukan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana sebaran penurunan muka tanah Kota Semarang yang dihasilkan dari pengamatan metode DInSAR ?
2. Berapa kecepatan penurunan muka tanah di Kota Semarang menggunakan metode DInSAR secara multi-temporal ?
3. Bagaimana tingkat ketelitian metode DInSAR dengan citra Sentinel-1 berdasarkan verifikasi lapangan dan validasi hasil terhadap pengukuran metode GPS ?
4. Bagaimana korelasi antara penurunan muka tanah Kota Semarang terhadap fenomena banjir rob, susunan stratigrafi dan struktur geologi?

### I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Teridentifikasi pola sebaran dan besaran penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Semarang sebagai bagian dari upaya mitigasi bencana.

#### 2. Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

##### a. Bidang keilmuan

Manfaat penelitian ini dalam segi keilmuan adalah variasi metode yang digunakan dalam mengamati dan menilai penurunan muka permukaan tanah dan diperolehnya nilai penurunan permukaan tanah Kota Semarang menggunakan metode DInSAR.

##### b. Bidang rekayasa

Manfaat penelitian ini dalam segi rekayasa adalah dapat digunakan untuk memberikan referensi untuk pembangunan daerah Kota Semarang terkait adanya penurunan muka tanah.

### I.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Menggunakan citra Sentinel-1a level 1 yang diakuisisi pada tahun 2015 – 2016 dengan masing-masing pasangan citra memiliki nilai *baseline perpendicular* kurang dari 300 m dan koherensi ( $\gamma$ ) lebih dari 0,2.
2. DEM SRTM yang digunakan mempunyai resolusi 30 m.
3. Perangkat Lunak yang digunakan untuk pengolahan DInSAR adalah SNAP yang merupakan perangkat lunak pengolahan citra berbasis sumber terbuka.
4. Keluaran dari penelitian ini adalah peta penurunan muka tanah Kota Semarang dengan skala 1:100.000.
5. Penelitian ini hanya memonitor perubahan vertikal dengan mengabaikan pergerakan horizontal muka tanah.

**I.5. Ruang Lingkup Penelitian**

**1.5.1 Lokasi Penelitian**

Area studi penelitian ini adalah Kota Semarang yang mempunyai koordinat geodetis 6°50' - 7° 10' LS dan 109° 50' - 110° 35' BT dengan luas sekitar 373,70 km<sup>2</sup>.

**1.5.2 Alat dan Data Penelitian**

1. Peralatan keras yang dibutuhkan pada penelitian adalah:
  - a. Laptop ASUS P450L dengan Prosesor Intel ® Core i5-4210U CPU @2.1 GHz (4CPUs), RAM 8 Gb, OS Windows 8.1 dan Ubuntu Linux 16.04.
2. Perangkat Lunak yang dibutuhkan pada penelitian adalah: SNAP 5.0, SNAPHU 1.4.2, ArcMap 10.3
3. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :
  - a. Citra Sentinel-1a IW level 1 wilayah Semarang tahun 2015-2016.
  - b. Data pengamatan GPS tahun 2013 dan 2015.
  - c. DEM SRTM 1sec dengan resolusi spasial 30m.
  - d. Peta administrasi wilayah Kota Semarang.
  - e. Peta Geologi Lembar Magelang Semarang.

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1. Teori Deformasi**

Deformasi didefinisikan sebagai perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu materi atau perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi baik secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut (Kuang, 1996 dalam Vidyan, Y.dkk,2013).

**II.2. Teori Penurunan Muka Tanah**

Penurunan tanah dapat didefinisikan turunnya elevasi permukaan tanah terhadap bidang referensi yang dianggap stabil. Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah. Turunnya permukaan tanah yang terakumulasi selama rentang waktu tertentu akan dapat mencapai besaran penurunan hingga beberapa meter (Whittaker dan Reddish, 1989). Adapun beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah (Whittaker dan Reddish, 1989), yaitu :

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat di atasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktivitas penambangan).

**II.3. Metode Estimasi Penurunan Muka Tanah**

**1. GPS**

*Global Position System* (GPS) adalah sistem navigasi radio untuk penentuan posisi yang teliti. Penentuan posisi ini menggunakan konsep reseksi (pengikatan ke belakang) melalui pengukuran jarak suatu titik secara simultan menggunakan beberapa satelit yang telah diketahui koordinatnya.

Dalam metode ini, *receiver* GPS ditempatkan di beberapa titik pada lokasi yang telah dipilih yang kemudian di amati koordinatnya secara berkala. Dengan menganalisis perubahan tinggi ellipsoid tiap titik pengamatan secara periodik maka nilai penurunan muka tanah pada titik-titik tersebut dapat diperoleh.

**2. DInSAR**

*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) adalah metode pencitraan radar ke samping dengan memanfaatkan perbedaan fase dua atau lebih citra SAR dengan akuisisi yang berbeda dalam pengolahannya untuk mendapatkan deformasi. Tujuan utama DInSAR adalah untuk mengekstrak total fase yang hanya diakibatkan oleh deformasi dengan menghapus atau meminimalkan hal-hal lain yang berkontribusi. Apabila terdapat modul permukaan topografi yang dijadikan sebagai acuan atau apabila terdapat tiga atau lebih citra radar maka perubahan dapat ditentukan melalui *differential* InSAR. Informasi fase yang dimiliki oleh interferogram dari hasil pengamatan 2 SAR pada waktu yang berbeda, sebenarnya memiliki unsur topografi, pergeseran orbit, deformasi permukaan dan efek atmosfer (Castaneda, dkk., 2011). Beda fase dalam interferogram dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{defo} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{orb} \dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

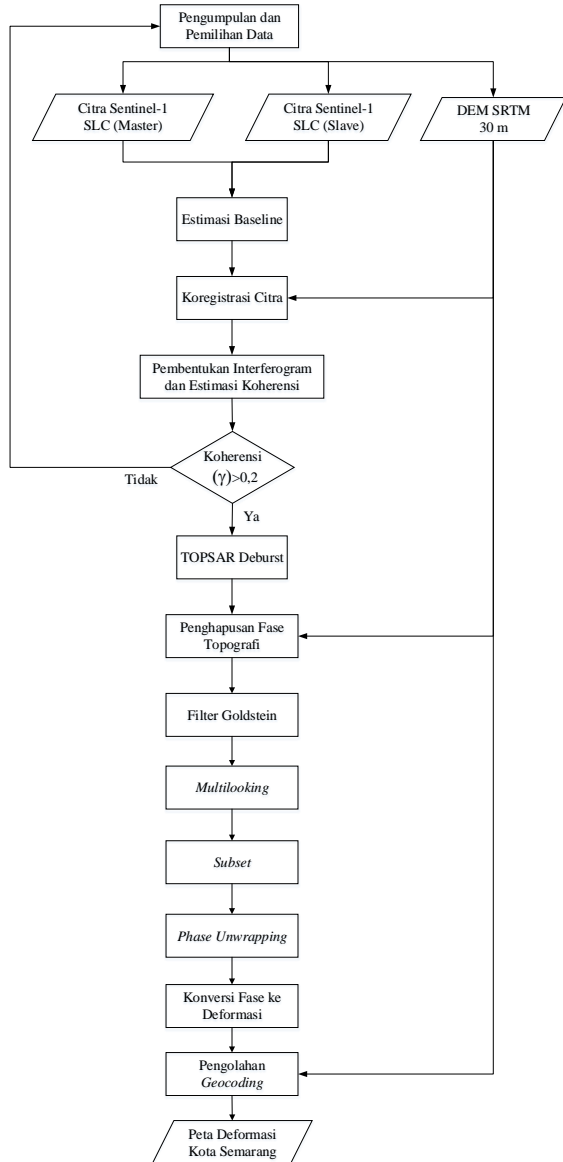
- $\varphi$  = Beda Fase
- $\varphi_{topo}$  = Fase Topografi
- $\varphi_{defo}$  = Fase Deformasi
- $\varphi_{atm}$  = Fase Atmosferik
- $\varphi_{orb}$  = Fase Orbit

**II.4. Karakteristik Sentinel-1**

Sentinel-1 merupakan seri satelit pertama dari tujuh misi satelit yang diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA). Seperti satelit SAR ESA sebelumnya, Sentinel-1 memiliki sensor *C-band* dengan dua buah satelit yakni Sentinel-1a dan Sentinel-1b yang mengorbit secara tandem berjauhan 180°. Masing-masing satelit mampu melakukan *repeat cycle* setiap 12 hari dan dengan konstelasi kedua satelit tersebut membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari. Sentinel-1 memiliki 4 mode pengamatan dengan mode utama di daratan adalah mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan resolusi spasial sekitar 5 m x 20 m.

**III. Metodologi Penelitian**  
**III.1. Pengolahan DInSAR**

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam gambar III.1

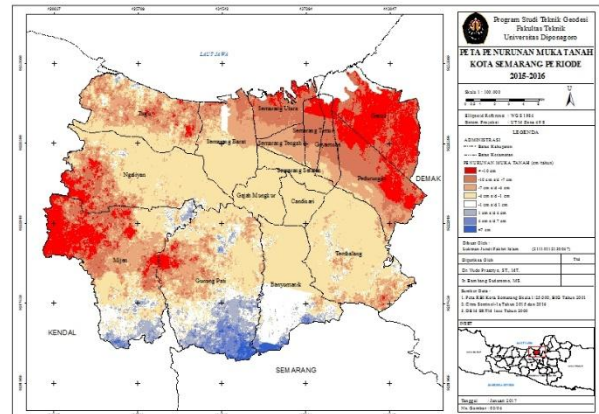


Gambar III.1 Diagram alir pengolahan DInSAR

Tahapan pengolahan dengan metode DInSAR hasil akhirnya adalah peta deformasi, namun untuk mengetahui kecepatan penurunan muka tanah pada setiap kecamatan maka dilakukan Pemotongan citra dan pembentukan *Regions Of Interest* (ROIs). Ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai penurunan muka tanah pada setiap kecamatannya. ROIs adalah bagian dari gambar yang digunakan untuk membuat statistik yang menunjukkan nilai penurunan muka tanah. Terdapat tiga informasi pada statistik ROIs, yaitu nilai minimal, maksimal, rata-rata dan standar deviasi.

**IV. Hasil dan Pembahasan**  
**IV.1 Hasil dan Analisis Pengolahan DInSAR**

Pada penelitian ini digunakan 3 citra Sentinel-1 dimana citra tersebut dibuat menjadi 2 pasang citra yang selanjutnya disebut menjadi pasangan 1 dan pasangan 2. Produk yang dihasilkan dari kedua pasangan tersebut mempunyai resolusi *range* dan azimuth akhir sekitar 16 m x 18 m. Untuk analisis multi-temporal, hasil kedua pasangan tersebut kemudian gabung dan di potong sesuai dengan area studi seperti yang terlihat pada gambar IV.4.



Gambar IV.1 Peta penurunan muka tanah Kota Semarang 2016

Berdasarkan hasil statistik ROIs diperoleh besaran penurunan muka tanah per kecamatan berdasarkan nilai minimal, maksimal, rata-rata dan standar deviasi seperti yang dapat dilihat pada tabel IV.1.

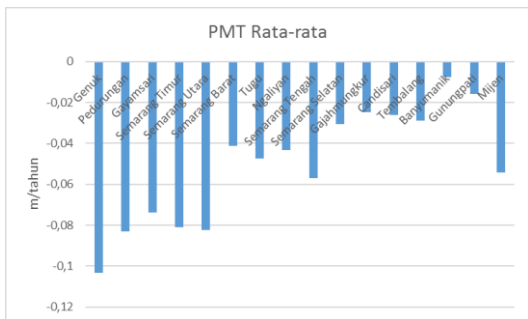
Tabel IV.1. Kecepatan penurunan muka tanah kota Semarang hasil pengolahan DInSAR

Kecamatan	Rata-rata (m)	Minimal (m)	Maksimal (m)	Standar deviasi (m)
Banyumanik	-0,0077	+0,1199	-0,086	0,0242
Candisari	-0,0261	-0,0015	-0,045	0,0027
Gajahmungkur	-0,0247	+0,0188	-0,0643	0,0041
Gayamsari	-0,074	-0,0273	-0,1424	0,0272
Genuk	-0,1035	-0,039	-0,1593	0,0102
Gunungpati	-0,0159	+0,1167	-0,2008	0,0404
Mijen	-0,0542	+0,1224	-0,2091	0,0489
Ngaliyan	-0,0432	+0,0416	-0,1966	0,029
Pedurungan	-0,0831	-0,0023	-0,146	0,0236
Semarang Barat	-0,0411	+0,0113	-0,1463	0,0196
Semarang Selatan	-0,0305	-0,0056	-0,0545	0,0038
Semarang Tengah	-0,0569	-0,0249	-0,0866	0,0116
Semarang Timur	-0,081	-0,034	-0,1537	0,0227
Semarang Utara	-0,0823	-0,0203	-0,1549	0,0158
Tembalang	-0,0289	+0,0584	-0,1208	0,0145
Tugu	-0,0474	+0,0585	-0,1674	0,0238



Hasil dari pengolahan DInSAR menunjukkan Kota Semarang cenderung mengalami penurunan muka tanah dengan nilai rata-rata sebesar  $4,37 \pm 4$  cm/tahun. Besarnya penurunan tersebut bervariasi di setiap wilayah dimana Kota Semarang bagian utara atau yang sering disebut Semarang bawah cenderung mengalami penurunan tanah yang lebih besar dibandingkan Kota Semarang bagian selatan atau yang sering disebut Semarang atas yang mana sebagian wilayahnya terdeteksi mengalami kenaikan muka tanah.

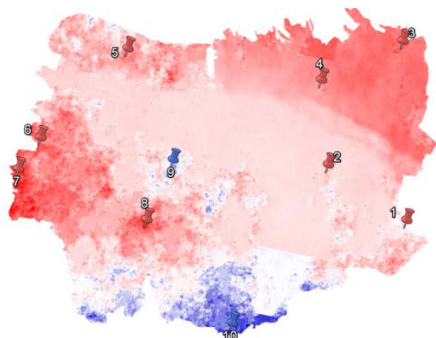
Dari tabel IV.1 dan gambar IV.2 diperoleh penurunan rata-rata terbesar berada di Kecamatan Genuk, Pedurungan dan Semarang Utara dengan nilai rata-rata sebesar  $10,35 \pm 1,02$  cm/tahun,  $8,31 \pm 2,36$  cm/tahun dan  $8,23 \pm 1,58$  cm/tahun. Sedangkan daerah dengan penurunan paling rendah adalah Kecamatan Banyumanik dengan penurunan muka tanah sebesar  $0,77 \pm 2,42$  cm.



Gambar IV.2 Diagram PMT rata-rata kecamatan di Kota Semarang





**IV.2 Hasil dan Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Hasil Verifikasi Visual Lapangan**

Verifikasi lapangan diperlukan untuk mengecek pengolahan SAR dengan metode DInSAR sudah menghasilkan keluaran yang benar. Verifikasi lapangan dilakukan dengan menyurvei titik sampel yang mengalami deformasi vertikal yang cukup besar pada keluaran DInSAR, dimana deformasi tersebut mungkin akan menimbulkan dampak yang dapat diamati secara visual di lapangan. Titik sampel yang diamati dalam penelitian ini berjumlah 10 titik dengan rincian 8 titik sampel yang menunjukkan penurunan dan 2 titik sampel yang menunjukkan kenaikan dan tersebar seperti pada gambar IV.3. Adapun contoh informasi titik validasi dapat dilihat pada tabel IV.2.



Gambar IV.3Sebaran titik verifikasi

Tabel IV.2 Contoh verifikasi lapangan hasil DInSAR

No	Koordinat (x,y)	Nilai PMT (cm)	Foto	Keterangan
1	-7.0585° 110.4874°	-8		Penambangan
4	-6.9808° 110.4422°	-10		Produksi batu bata
7	-7.0269° 110.2734°	-16		Vegetasi rapat dan ladang.
9	-7.0227° 110.3613°	+6		TPA Jatibarang

Hasil dari verifikasi diperoleh menunjukkan kesesuaian antara fenomena deformasi vertikal hasil DInSAR dengan kenyataan di lapangan meskipun akurasi nilainya tidak diketahui karena tidak ada pengukuran langsung. Pada sampel 1, 2 dan 4 menunjukkan keterlibatan langsung manusia sehingga membuat nilai penurunan muka tanah relatif lebih tinggi dari lingkungan sekitarnya. Tetapi, nilai yang dideteksi terlalu kecil untuk mewakili aktivitas pengerukan tanah pada sampel 1 dan 2. Fenomena ini mungkin sama seperti yang terjadi dalam penelitian Nitti D.O., dkk. (2008) di area tambang Wielizka Salt Polandia, dimana nilai deformasi vertikal yang terjadi tidak terdeteksi dengan optimal akibat keterbatasan sensor C-band dalam mendeteksi nilai maksimal PMT dan melebihi batas proses aliasing C-band.

Selain itu verifikasi juga dilakukan pada daerah yang terdeteksi mengalami kenaikan tanah pada sampel nomor 9 dan 10 yang berada di TPA Jatibarang dan sawah di Kecamatan Banyumanik. Sampel nomor 10 awalnya terdeteksi mengalami kenaikan pada pasangan 1 kemudian turun pada pasangan 2. Hal tersebut mungkin dipengaruhi aktivitas pertanian, sedangkan sampel nomor 9 mengalami kenaikan di kedua pasang citra yang mana juga berarti sampah di TPA Jatibarang terus mengalami peningkatan volume.

Pada sampel nomor 6, 7 dan 8 penulis tidak mendapati adanya dampak akibat penurunan tanah yang dapat dilihat secara visual meskipun hasil DInSAR menunjukkan nilai PMT yang cukup besar. Nilai tersebut bisa jadi memang disebabkan adanya PMT, namun jika ditinjau koherensinya yang rendah area

tersebut mengalami dekorelasi temporal, terutama pada vegetasi yang ada di wilayah tersebut. Hal ini disebabkan gelombang *C-band* dari satelit yang tidak mampu menembus vegetasi hingga permukaan tanah. Akibatnya apabila terjadi perubahan pada tanaman baik karena tumbuh, rusak, terkena angin dan sebagainya, membuat informasi yang diperoleh kurang akurat.

**IV.3 Analisis Pola Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Berdasarkan Hasil DInSAR**

**1. Korelasi PMT Terhadap Banjir Rob**

Rob adalah kejadian/fenomena alam dimana air laut masuk ke wilayah daratan, pada waktu permukaan air laut mengalami pasang. Rob dapat menjadi indikasi terjadinya penurunan tanah di Kota Semarang karena ketika daerah yang tanahnya turun dan permukaan tanah menjadi lebih rendah daripada permukaan air laut, maka air laut akan melimpah ke daratan sehingga menyebabkan terjadinya banjir rob. Selain PMT, rob juga dapat disebabkan adanya pemanasan global dan sistem drainase yang buruk meskipun kedua faktor tersebut tidak cukup signifikan untuk mempengaruhi luasan rob di Kota Semarang jika dibandingkan PMT.



Gambar IV.4 Perubahan area banjir rob. Warna hijau adalah area rob tahun 2012 sedangkan garis merah adalah area rob hasil survei pada September 2016.

Berdasarkan hasil survei lapangan berupa wawancara dan peninjauan lapangan pada September 2016, ditemukan adanya perbedaan wilayah yang terkena rob dibandingkan data tahun 2012 hasil validasi rob dalam penelitian Nugraha, A.L. (2012) seperti yang terlihat pada gambar IV.4. Kecamatan Semarang Tengah pada tahun 2016 hampir tidak pernah mengalami banjir rob setelah adanya perbaikan sistem drainase seperti normalisasi sungai, pembangunan sistem polder, pembangunan Bendungan Jatibarang yang dapat mengurangi limpasan air dari hulu dan sebagainya. Meskipun, saat hujan deras daerah tersebut masih sering tergenang air seperti sebelumnya. Sedangkan untuk wilayah Semarang bagian barat dan timur cenderung mengalami penambahan area banjir rob.

Adanya perluasan area banjir rob di wilayah tersebut menunjukkan adanya korelasi antara PMT dengan banjir rob terutama pada wilayah yang mengalami PMT tertinggi di Kota Semarang seperti Kecamatan Genuk, Semarang Timur dan Semarang Utara. Adapun nilai penurunan muka tanah rata-rata yang terjadi pada daerah rob tersebut adalah sebesar  $7,39 \pm 2,95$  cm. Contoh banjir rob di daerah tersebut dapat dilihat pada gambar IV.5

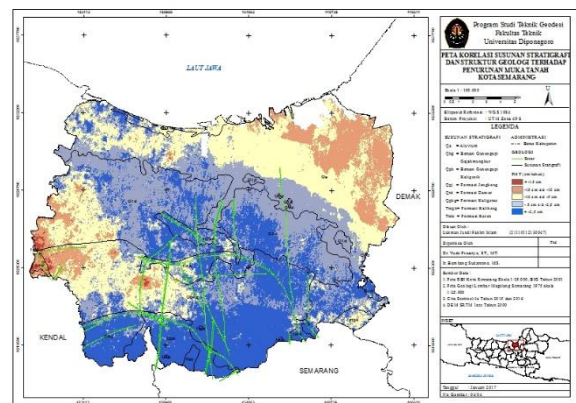


Gambar IV.5 Contoh dampak banjir rob

**2. Korelasi PMT Terhadap Susunan Stratigrafi dan Struktur Geologi Kota Semarang**

Untuk melihat adanya korelasi antara PMT dengan susunan stratigrafi dan struktur geologinya, dilakukan *overlay* antara peta deformasi dengan peta geologi yang menghasilkan peta seperti gambar IV.6. Korelasi susunan stratigrafi dengan PMT terlihat jelas pada wilayah yang terbentuk dari aluvial, dimana pola PMT yang terjadi di Semarang bawah relatif mengikuti pola aluvial. Selain itu, karakteristik aluvial di Kota Semarang yang masih mengalami proses konsolidasi membuat nilai PMT yang lebih besar dari wilayah lainnya seperti yang terlihat pada tabel IV.3 yakni dengan nilai PMT rata-rata sebesar 6,2 cm/tahun. Pada wilayah dengan formasi damar, PMT yang terjadi cenderung memiliki nilai yang seragam dengan nilai standar deviasi yang kecil kecuali pada sebagian wilayah di Kecamatan Gunungpati, Ngaliyan dan Mijen dengan nilai PMT yang lebih besar dari wilayah sekitarnya. Adapun wilayah dengan susunan stratigrafi lainnya memiliki nilai deformasi vertikal yang bervariasi.

Berdasarkan analisis geologinya, PMT di Semarang atas cenderung dipengaruhi *subsidence* lokal vulkanik dari Gunung Ungaran (Fahrudin, 2017). Akan tetapi, PMT yang terjadi pada titik validasi nomor 6, 7 dan 8 bernilai cukup besar jika hanya dipengaruhi faktor tersebut. Meskipun terdapat sesar normal dekat area itu yang dapat mempengaruhi nilai *subsidence*, namun belum ada penelitian terkini yang menunjukkan aktifnya sesar tersebut. Sehingga, perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk membuktikan ada tidaknya PMT dan faktor utama yang mempengaruhi PMT di wilayah tersebut.



Gambar IV.6 Peta overlay PMT dengan peta geologi.

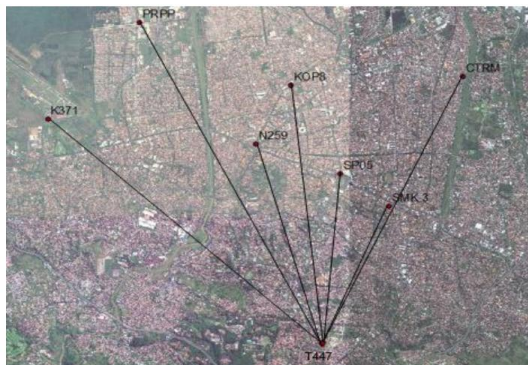


Tabel IV.3 ROI PMT dan susunan stratigrafinya.

Susunan Stratigrafi	Kode	Luas Area (km <sup>2</sup> )	Penurunan Muka Tanah (m)			
			Maksimal	Minimal	Rata-rata	Standar deviasi
Aluvial	QA	142,278	-0,1674	0,0691	-0,0620	0,0342
Formasi Damar	Qtd	103,59	-0,2001	0,0646	-0,0380	0,0292
Formasi Kaligetes	Qpkg	91,628	-0,2068	0,1198	-0,0346	0,0437

**IV.3 Hasil dan Analisis Validasi GPS Terhadap Hasil Pengolahan DInSAR**

Untuk memvalidasi hasil pengolahan DInSAR digunakan data sekunder pengamatan GPS yang diakuisisi menggunakan GPS geodetik pada tugu BM yang diukur secara rutin untuk mengamati penurunan muka tanah. Ada beberapa peneliti yang sudah melakukan pengukuran di tugu tersebut, yang paling baru adalah pada penelitian Khoirunisa, R., (2015) dan Yuwono, B.D., (2016). Pada penelitian ini menggunakan data penelitian Khorunisa, R., (2015) dengan data GPS yang diakuisisi pada tahun 2013 dan 2015 sejumlah 7 titik pengamatan seperti yang terlihat pada gambar IV.3. Titik tersebut diolah menggunakan metode pengolahan GPS radial dengan 1 titik ikat lokal (T447) dan 10 titik ikat IGS (COCO, BAKO, DARW, DGAR, PIMO, GUAM, KUNM, KARR, TOW2 dan IISC). Adapun perbandingan data GPS dan hasil pengolahan DInSAR dapat dilihat pada tabel IV.4.



Gambar IV.4 Sebaran titik pengamatan GPS (Khoirunisa, R., 2015)

Tabel IV.4 Perbandingan Hasil GPS dan DInSAR

Titik	Bujur	Lintang	GPS (cm/tahun)	DInSAR (cm/tahun)	Koherensi DInSAR rata-rata (γ)	Selisih GPS dan DInSAR (cm)
K371	-6,979	110,377	-0,835	-2,504	0,382	1,669
N259	-6,984	110,410	-1,225	-3,894	0,574	2,669
KOP8	-6,973	110,415	-8,500	-6,372	0,415	2,128
SP05	-6,989	110,423	-2,272	-6,521	0,378	4,249
SMK3	-6,995	110,431	-2,239	-3,385	0,521	1,147
CRTM	-6,972	110,442	-13,935	-8,896	0,315	5,039
PRPA	-6,962	110,391	-13,5	-7,256	0,378	6,244
Standar Deviasi						1,9
Rata-rata Selisih						3,306

Hasil dari titik pengamatan GPS kemudian dibandingkan dengan hasil DInSAR hingga diperoleh

selisih absolut seperti terlihat dalam tabel IV.8. Rata-rata selisih hasil GPS dan DInSAR bernilai sebesar 3,306 cm dengan standar deviasi sebesar 1,9 cm. Perbedaan hasil DInSAR dengan GPS yang cukup kecil ini menunjukkan potensi DInSAR yang baik dalam mengamati PMT meskipun akurasinya masih kurang jika dibandingkan hasil GPS.

Dari 7 titik pengamatan GPS, terdapat 3 titik dengan selisih cukup besar dengan hasil DInSAR pada titik SPO5, CRTM dan PRPA dengan nilai selisih lebih dari 4 cm. Jika ditinjau dari koherensi citranya seperti yang ditunjukkan pada gambar IV.11 dan tabel IV.8, 3 titik tersebut memiliki koherensi yang rendah yang berarti terdapat dekorelasi yang cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan hasil DInSAR yang kurang teliti.

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil studi literatur, pengolahan data sampai analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan berikut:

1. Penurunan muka tanah mempunyai nilai yang bervariasi di setiap wilayah dimana Kota Semarang bagian utara cenderung mengalami penurunan tanah yang lebih besar dibandingkan Kota Semarang bagian selatan atau yang sering disebut Semarang atas. Adapun Semarang atas yang mengalami penurunan tinggi berada di Kecamatan Gunungpati, Ngalihan dan Mijen.
2. Kota Semarang cenderung mengalami penurunan muka tanah dengan kecepatan rata-rata sebesar 4,37±4 cm/tahun. Penurunan terbesar berada di beberapa titik di Kecamatan Mijen dengan penurunan paling tinggi sebesar 20,91±4,89 cm/tahun. Sedangkan wilayah dengan rata-rata penurunan terbesar adalah Kecamatan Genuk dengan penurunan sebesar 10,35±1,02 cm/tahun. Adapun wilayah dengan penurunan paling rendah adalah Kecamatan Banyumanik dengan penurunan muka tanah rata-rata sebesar 0,77±2,42 cm/tahun.
3. Hasil validasi melalui perbandingan GPS dan Hasil DInSAR menghasilkan selisih antara 1,147 cm sampai 6,244 cm dengan standar deviasi sebesar 1,9 cm. Sedangkan berdasarkan hasil verifikasi metode DInSAR dengan Sentinel-1 mampu mendeteksi deformasi vertikal dengan cukup akurat. Namun akurasinya akan menurun jika digunakan di area studi yang sering mengalami dekorelasi temporal misalnya wilayah dengan vegetasi yang rapat dan daerah studi yang dengan propagansi gelombang yang diakibatkan tingginya kandungan air dalam awan.
4. Penurunan muka tanah berkorelasi dengan perluasan area rob di Kota Semarang terutama di Kecamatan Genuk, Semarang Timur dan Semarang Utara yang juga merupakan wilayah yang mengalami penurunan muka tanah tertinggi di Kota Semarang dengan nilai penurunan rata-rata di area rob sebesar 7,39±2,95 cm/tahun. Susunan stratigrafi Kota Semarang juga berkorelasi dengan penurunan muka

tanah ditandai dengan pola penurunan yang relatif mengikuti susunan stratigrafinya. Korelasi ini terlihat jelas pada wilayah yang terbentuk dari aluvial dengan nilai penurunan yang lebih tinggi dari daerah dengan susunan stratigrafi lainnya.

## V.2 Saran

Berdasarkan proses persiapan hingga akhir penelitian, penulis memberikan beberapa saran yang dapat diambil. Saran yang dapat diberikan berdasarkan pada hasil penelitian sebagai berikut:

1. Untuk pengolahan DInSAR menggunakan Sentinel-1 sebaiknya menunggu keluar produk Sentinel-1b sehingga dengan kombinasi 2 satelit Sentinel-1 diharapkan data yang diperoleh memiliki lebih banyak variasi dengan resolusi temporal dan koherensi yang lebih baik.
2. Penerapan metode DInSAR pada Sentinel-1a di wilayah Kota Semarang dalam penelitian ini masih memiliki berbagai kendala seperti dekorelasi dan gangguan atmosfer. Sehingga untuk penelitian selanjutnya sebaiknya memakai metode yang lebih baru seperti SBAS dan PS-InSAR agar dapat menghasilkan produk yang lebih baik.
3. Pengolahan DInSAR menggunakan perangkat lunak *open source* SNAP mempunyai potensi yang bagus seiring adanya berbagai perbaikan dan optimalisasi di setiap versinya. Namun, diharapkan adanya perbaikan algoritme dalam operasi *topographic phase removal* sehingga pengguna dapat memakai lebih banyak variasi DEM selain yang diunduh otomatis oleh perangkat lunak.
4. Disarankan adanya penelitian metode DInSAR yang menggunakan perangkat lunak lainnya.
5. Disarankan menggunakan Citra SAR dan DEM dengan resolusi spasial yang lebih tinggi untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.
6. Disarankan adanya integrasi antara metode radar dan metode GPS dengan penggunaan *corner reflector* untuk meningkatkan akurasi produk yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

Castaneda, dkk. (2011). *Dedicated SAR interferometric analysis to detect subtle deformation in evaporite areas around Zaragoya, NE Spain*. International Journal of remote sensing 32(7):1861-1884(2011).

Fahrudin. (2017). Komunikasi pribadi.

Khoirunisa, R., Yuwono, B. D., & Wijaya, A. P. (2015). *Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.5*. Jurnal Geodesi UNDIP, 4(4), 341-350.

Nitti, D. O., dkk. (2008). *L- And C-Band Sar Interferometry Analysis Of The Wieliczka Salt Mine Area (UNESCO Heritage Site, Poland)*. In Proceedings of the 2008 Joint PI Symposium of the ALOS Data Nodes. Rhodes, Yunani.

Nugraha A.L, Purnama B.S., dan Aditya T. (2012). *Pemetaan Resiko Bencana Banjir Rob Kota Semarang*, The 1st Conference on Geospatial Science and Engineering, Universitas Gajah Mada.

Sophian, R. I. (2010). *Penurunan Muka Tanah di Kota-kota Besar Pesisir Pantai Utara Jawa (Studi Kasus: Kota Semarang)*. Bulletin of Scientific Contribution, 8(1), 41-60.

Vidyan, Y. (2013). *Pemanfaatan metode TLS (Terrestrial Laser Scanning) untuk pemanfaatan deformasi gunung api, Studi kasus: kerucut sinder Gunung Galunggung, Jawa Barat*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 4 No. 1 April 2013:49-69.

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

Yuwono, B. D., Abidin, H. Z., Gumilar, I., Andreas, H., Awaluddin, M., Haqqi, K. F., & Khoirunisa, R. (2016, May). *Preliminary survey and performance of land subsidence in North Semarang Demak*. In I. Meilano (Ed.), *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1730, No. 1, p. 060004). AIP Publishing.