

# STUDI PENURUNAN MUKA TANAH DI KAWASAN INDUSTRI KENDAL DENGAN METODE *PERMANENT SCATTERER INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR (PS InSAR)* MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL 1-A TAHUN 2014-2019

Bilal Fadhlurrohman<sup>\*)</sup>, Yudo Prasetyo, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : bilal.fr96@gmail.com

## ABSTRAK

Kabupaten Kendal merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang terletak di wilayah pesisir utara Pulau Jawa. Pemerintah Kabupaten Kendal sedang gencar melakukan pembangunan infrastruktur pada beberapa tahun terakhir yang ditandai dengan adanya proses pembangunan Kawasan Industri Kendal (KIK). Proses pembangunan infrastruktur yang terjadi di Kabupaten Kendal tidaklah lepas dari adanya fenomena alam yang harus dihadapi seperti penurunan muka tanah (PMT). Oleh sebab itu, penelitian ini mengkaji terkait PMT di KIK yang dilakukan dengan menggunakan teknik *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS InSAR)* menggunakan 14 citra Sentinel-1A tahun 2014-2019 yang diolah menggunakan *software* SNAP dan StaMPS. Hasil pengolahan PS InSAR menunjukkan laju PMT yang terjadi di KIK mencapai  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun dengan laju rata-rata sebesar  $1,5 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun. Pola pertumbuhan kawasan terbangun di KIK menunjukkan perubahan terjadi dari arah timur ke barat. Hasil *overlay* antara PMT dan pertumbuhan kawasan terbangun menunjukkan korelasi spasial yang cukup kuat karena keduanya memiliki arah yang sama yang mana PMT semakin besar ketika mengarah ke barat KIK. Dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun cenderung tidak besar. Pertumbuhan kawasan terbangun yang tergolong kedalam kelas PMT tinggi dengan rentang nilai 2 hingga  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun mencapai 38,5% dengan luas sebesar  $401.033$  m<sup>2</sup>, kedalam kelas PMT sedang dengan rentang nilai 1 hingga  $2 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun sebesar 37,4% dengan luas  $389.802$  m<sup>2</sup> dan kelas rendah sebesar 15,8% dengan luas  $164.818$  m<sup>2</sup>. Sedangkan yang tidak mengalami PMT adalah sebesar 8,3% dengan luas  $85.941$  m<sup>2</sup>.

**Kata Kunci** : Kawasan Industri Kendal, Penurunan Muka Tanah, PS InSAR, Sentinel, StaMPS

## ABSTRACT

*Kendal Regency is one of the regencies in Central Java which is located in the northern coast of Java Island. The Kendal Regency Government is intensively conducting infrastructure development in the last few years marked by the process of developing the Kendal Industrial Zone (KIK) which is experiencing the natural phenomena that must be faced such as land subsidence (LS). Therefore, this study examines LS in KIK conducted by using Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS InSAR) technique using 14 Sentinel-1A images in 2014-2019 which were processed in SNAP and StaMPS software. The results of PS InSAR processing show that LS rates that occur in KIK reach  $3.1 \pm 0.09$  to  $0.88$  cm/year with an average rate of  $1.5 \pm 0.09$  to  $0.88$  cm/year. The growth pattern of the built up area in KIK shows the change occurred from east to west. The results of overlaying between the PMT and the growth of the built up area show a fairly strong spatial correlation because both have the same direction where the PMT gets bigger when it heads to west of the KIK. The impact of the PMT on the growth of the built up area tends not to be large. The growth of the built up area which is classified into high PMT class with a range of values from 2 to  $3.1 \pm 0.09$  to  $0.88$  cm/year reaches 38.5% with an area of  $401,033$  m<sup>2</sup>, into moderate PMT class with values ranging from 1 to  $2 \pm 0.09$  to  $0.88$  cm/year by 37.4% with an area of  $389,802$  m<sup>2</sup> and into low PMT class by 15.8% with an area  $164,818$  m<sup>2</sup>. While that which did not experience PMT was 8.3% with an area of  $85,941$  m<sup>2</sup>.*

**Keywords** : Kendal Industrial Area, Land Subsidence, PS InSAR, Sentinel, StaMPS

<sup>\*)</sup>Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1 Latar Belakang

Kabupaten Kendal merupakan salah satu kabupaten di Indonesia yang terletak di wilayah pesisir (*coastal area*) Pulau Jawa yang memiliki luas wilayah sebesar 1.118,13 km<sup>2</sup>. Pemerintah Kabupaten Kendal sedang gencar melakukan pembangunan infrastruktur pada beberapa tahun terakhir yang ditandai dengan adanya proses pembangunan kawasan industri. Kabupaten Kendal merupakan wilayah yang terpilih untuk dilakukan pembangunan kawasan industri karena terletak di wilayah pesisir laut utara pulau Jawa sehingga memiliki letak wilayah geografis yang strategis dan bentuk topografi yang datar. Kawasan industri tersebut adalah Kawasan Industri Kendal (KIK) yang merupakan kawasan industri baru yang telah dibangun sejak tahun 2015. Pada pelaksanaan pembangunannya, pemerintah Kabupaten Kendal menetapkan beberapa desa yang berada di Kecamatan Kaliwungu sebagai kawasan industri.

Di sisi lain, Kabupaten Kendal secara geomorfologi merupakan daerah yang sangat kompleks dengan aktivitas dan fenomena alam karena Kabupaten Kendal terletak di wilayah pesisir (*coastal area*). Beberapa aktivitas dan fenomena alam tersebut diantaranya adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*). Penurunan muka tanah (PMT) merupakan suatu fenomena yang merugikan karena dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur yang tentunya dapat menghambat perkembangan/pembangunan suatu kota/wilayah dan menimbulkan kerugian. Berbagai jenis faktor yang dapat menjadi penyebab terjadinya penurunan muka tanah diantaranya adalah penurunan yang disebabkan oleh beban bangunan, pengambilan air tanah yang berlebihan, gaya-gaya tektonik, konsolidasi alamiah lapisan tanah alluvium, penambangan bawah tanah, patahan kerak bumi, ekstraksi gas dan minyak bumi dan kontraksi panas bumi di lapisan litosfer (Prasetyo, 2014).

Pada penelitian ini, pengamatan penurunan muka tanah diperoleh dengan metode *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS InSAR). Hasil hitungan dan analisis besaran laju penurunan tanah yang bernilai signifikan menentukan besaran penurunan muka tanah (Prasetyo dan Subiyanto, 2014). Nilai dan laju penurunan muka tanah berdasarkan perubahan *line of sight* (LOS) diperoleh dengan menggunakan metode PS InSAR yang menggunakan citra Sentinel 1-A pada rentang waktu 2014-2019. Selanjutnya pola dan persebaran pertumbuhan kawasan terbangun yang terjadi di KIK dari tahun 2013-2019 diperoleh dari pemrosesan data sekunder dengan menggunakan metode SIG yang kemudian akan dilakukan *overlay* dengan hasil PMT untuk mengetahui seberapa besar dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun yang terjadi di KIK dan mengetahui korelasi spasial antara keduanya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju penurunan muka tanah di Kawasan Industri Kendal dan dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun di KIK berdasarkan hasil pengolahan metode PS InSAR dan SIG sehingga dapat dijadikan sebagai referensi dalam penentuan kebijakan oleh pihak yang berwenang.

### I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis hasil verifikasi penurunan muka tanah (PMT) terhadap data sekunder yang menggunakan metode SBAS?
2. Bagaimana analisis hasil keterkaitan penurunan muka tanah (PMT) dengan pola dan sebaran pertumbuhan kawasan terbangun di Kawasan Industri Kendal (KIK) yang terjadi pada tahun 2013-2019?

### I.3 Tujuan Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui analisis hasil verifikasi penurunan muka tanah (PMT) terhadap data sekunder yang menggunakan metode SBAS.
2. Mengetahui analisis hasil keterkaitan penurunan muka tanah (PMT) dengan pola dan sebaran pertumbuhan kawasan terbangun di Kawasan Industri Kendal (KIK) yang terjadi pada tahun 2013-2019.

### I.4 Batasan Masalah

Untuk mencegah pembahasan yang terlalu melebar maka penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut :

1. Metode yang digunakan untuk mengetahui besar nilai penurunan muka tanah rata-rata per tahun di Kawasan Industri Kendal dalam rentang tahun 2014-2019 adalah metode *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS InSAR) menggunakan citra Sentinel 1-A.
2. Hasil PS InSAR diverifikasi menggunakan data SBAS yang diperoleh dari penelitian terdahulu.
3. Penelitian ini hanya memonitor perubahan vertikal dengan mengabaikan pergerakan horizontal muka tanah.
4. Hasil pola dan persebaran pertumbuhan kawasan terbangun yang terjadi di KIK dari tahun 2013-2019 diperoleh dengan menggunakan data sekunder.
5. Keluaran dari penelitian tugas akhir ini adalah Peta Penurunan Muka Tanah (PMT) di Kawasan Industri Kendal dan Peta Dampak PMT Terhadap Pertumbuhan Kawasan Terbangun di KIK berdasarkan hasil pengolahan metode PS InSAR tahun 2014-2019 dan pengolahan dengan metode GIS.

### I.5 Ruang Lingkup Penelitian

#### I.5.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kawasan Industri Kendal (KIK) yang terdapat di Kabupaten Kendal yang terletak pada 109°40' - 110°18' Bujur Timur dan 6°32' - 7°24' Lintang Selatan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar I.1**.



Gambar I.1 Lokasi penelitian

### I.5.2 Data dan Alat Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Citra Sentinel 1-A SLC tahun 2014-2019.
2. Data sekunder hasil pengolahan penurunan muka tanah metode SBAS tahun 2015-2018.
3. Data sekunder hasil digitasi kawasan terbangun di KIK tahun 2013 dan 2019.
4. DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) 1sec Kabupaten Kendal.
5. Data *shapefile* batas administrasi Kabupaten Kendal dan batas Kawasan Industri Kendal.

Alat yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

1. Perangkat keras
  - a. Laptop merk Asus X450JN
  - b. Sistem Operasi: Windows 10 Enterprise 64-bit
  - c. Processor: Intel® Core™ i7-5010U CPU @2.10GHz
  - d. RAM: 16 GB
2. Perangkat lunak
  - a. Perangkat lunak ArcGIS
  - b. Perangkat lunak SNAP
  - c. Perangkat lunak StaMPS
  - d. Perangkat lunak Matlab
  - e. Perangkat lunak Global Mapper
  - f. Microsoft Office 2016
  - g. Perangkat lunak IBM SPSS Statistic 25

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1 Kajian Wilayah Kabupaten Kendal

Kabupaten Kendal merupakan salah satu dari 35 daerah otonom di Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Kendal terletak antara 60° 32' - 70° 24' Lintang Selatan dan antara 109° 40' - 110° 18' Bujur Timur. Secara administrasi, batas sebelah utara adalah Laut Jawa, batas sebelah timur adalah Kota Semarang, batas sebelah selatan adalah Kabupaten Temanggung, dan batas sebelah barat adalah Kabupaten Batang. Kabupaten Kendal secara administrasi terbagi dalam 20 kecamatan dan 285 desa/kelurahan. Kabupaten Kendal merupakan kabupaten yang mempunyai wilayah agraris yang cukup luas. Hal

tersebut ditunjukkan dengan besarnya luas lahan yang digunakan untuk pertanian.

### II.2 Kawasan Industri

Kawasan Industri Kendal merupakan suatu kawasan industri baru yang dibangun di Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kendal. PT Jababeka Tbk dan Sembcorp Development Ltd bekerja sama dalam pengembangan Kawasan Industri Kendal yang memiliki luas wilayah sebesar 2.700 hektar merupakan kawasan industri terpadu di Jawa Tengah, Indonesia. Kawasan Industri Kendal akan dirancang menjadi kawasan industri standar internasional dengan pembangunan *mixed-use* yang mencakup daerah industri serta perumahan dan komersial yang memenuhi permintaan untuk kompetitif biaya manufaktur di Indonesia. Kawasan Industrial Kendal terletak sekitar 21 km dari sebelah barat Semarang (ibukota Jawa Tengah), 20 km dari Bandara Internasional Ahmad Yani dan 25km ke Pelabuhan Tanjung Emas. Kendal Industrial Park (KIK) menawarkan pabrik-pabrik tenaga kerja yang muda dan terampil, biaya tenaga kerja yang kompetitif dibandingkan dengan Jawa Barat dan Jawa Timur dan karyawan lulusan manajemen dari universitas lokal dan lembaga-lembaga kejuruan. Serta Kawasan Industri Kendal menyediakan dukungan pelanggan untuk *fast start-up* dan *hassle-free operation*. Kawasan Industri Kendal (KIK) akan dilengkapi dengan infrastruktur dengan standar internasional dan menawarkan fasilitas lahan untuk *custom-built* pabrik, pabrik-pabrik yang siap dibangun, listrik, pengolahan air bersih dan air limbah, perumahan eksekutif dengan fasilitas lengkap, asrama pekerja yang dikelola dengan baik dan lainnya (Kendal Industrial Park, 2020).

### II.3 Penurunan Muka Tanah (PMT)

Penurunan muka tanah adalah sebuah fenomena turunnya permukaan tanah yang disebabkan oleh adanya perubahan pada volume lapisan batuan yang terkandung di bawahnya dan proses geologi seperti aktivitas tektonik dan vulkanik, penghilangan material dari bawah permukaan seperti penambangan dan penyebab alami seperti terjadinya lubang-lubang pada batu kapur. Penurunan muka tanah ini biasanya terjadi perlahan-lahan dalam jangka waktu yang lama dan akan berdampak pada kondisi lingkungan sekitar. Perubahan muka tanah dapat berupa penurunan tanah dan kenaikan tanah. Penurunan muka tanah biasanya mengacu pada penurunan muka tanah secara massal daripada efek lokal dari konsolidasi atau penyusutan tanah (Whittaker dan Reddish, 1989).

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal (Whittaker dan Reddish, 1989) antara lain:

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 atau konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah aktivitas penambangan

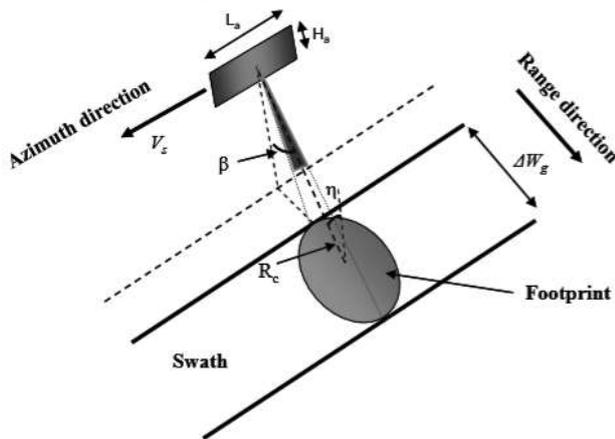
**II.4 Radio Detection And Ranging (Radar)**

Radar merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengumpulan data. Gelombang elektromagnetik tersebut diterima balik oleh satelit yang memancarkan. RADAR bekerja pada gelombang elektromagnetik berupa gelombang radio dan gelombang mikro dengan panjang gelombang sebesar beberapa milimeter hingga satu meter. Gelombang radio dan gelombang mikro tersebut dipancarkan ke seluruh permukaan bumi dan pantulannya terdeteksi dalam sistem radar yang digunakan untuk mendeteksi objek di permukaan (Sneed, 2013). Spesifikasi Gelombang RADAR dapat dilihat pada **Tabel II.1**.

**Tabel II.1** Spesifikasi Gelombang RADAR (Schowengerdt, 2006 dalam Prasetyo, 2014)

Rentang Panjang Gelombang	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
KA	0,75-1,1	27-40
KA	1,1-1,67	18-27
Ku	1,67-2,4	12-18
X	2,4-3,75	8-12
C	3,75-7,5	4-8
S	7,5-15	2-4
L	15-30	1-2
P	30-100	1-0,3
P	30-100	1-0,3

**II.5 Synthetic Aperture Radar (SAR)**



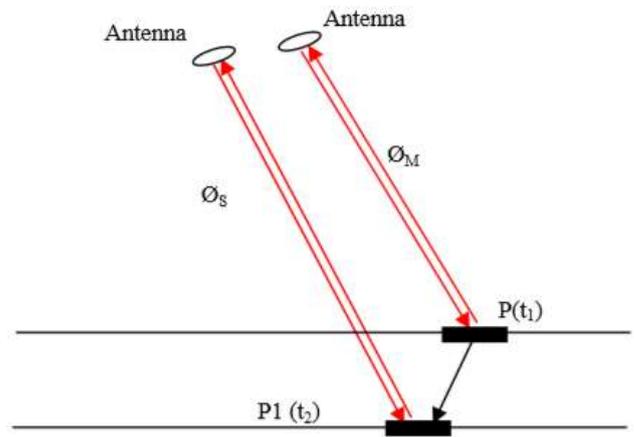
**Gambar II.1** Geometri Akuisisi Pencitraan SAR (Makhoul, 2010)

*Synthetic Aperture Radar* dihasilkan dari proses pemantulan sinyal pada wilayah yang dituju dan proses pengukuran waktu tempuh perjalanan sinyal hingga kembali ke satelit. Pencitraan SAR memiliki dua

komponen, yaitu amplitudo dan fasa. Amplitudo adalah pengukuran intensitas sinyal radar yang kembali ke satelit dan sifat reflektif yang bervariasi yang menggambarkan fitur lanskap seperti jalan, gunung, struktur dan fitur lainnya. Komponen fasa sebanding dengan jarak *Line Of Sight* (LOS) dari permukaan ke satelit (*range*) dan merupakan komponen yang digunakan untuk mengukur deformasi permukaan tanah (penurunan dan kenaikan muka tanah) (Sneed, 2013). Geometri akuisisi pada pencitraan SAR dapat dilihat pada **Gambar II.1**.

**II.6 Differential Interferometric SAR (DinSAR)**

*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar* (DInSAR) adalah teknik akuisisi dua citra SAR berpasangan kombinasi data citra kompleks pada posisi spasial yang sama (*differential SAR*) atau posisinya sedikit berbeda (*terrain height InSAR*) pada area sama dengan melakukan perkalian konjugasi berganda dengan hasil akhir berupa pergeseran suatu permukaan bumi atau model elevasi digital (Cumming dan Wong, 2005).



**Gambar II.2** Prinsip DinSAR *two-pass* (Sheng, 2009)

Secara umum, terdapat tiga jenis dari DinSAR yaitu *two-pass differential SAR*, *three-pass differential SAR* *four-pass differential SAR*. DinSAR *two-pass* memiliki prinsip akuisisi seperti yang dapat dilihat pada **Gambar II.2**. DinSAR *two-pass* menggunakan pasangan citra interferometrik dan model permukaan digital (DEM). Di antara dua citra SAR dengan tipe *single look complex* (SLC), salah satunya diperoleh sebelum terjadinya pergeseran permukaan dan yang lainnya setelah terjadinya pergeseran dengan DEM eksternal yang digunakan untuk dikonversi ke nilai fasa yang terkait (Sheng, dkk., 2009). Visualisasi yang dapat dilihat pada **Gambar II.2** mengilustrasikan di mana P adalah titik pada permukaan dalam dua citra. Sensor memperoleh citra SAR pertama (yang disebut sebagai citra *master*) pada waktu T1 dengan mengukur fasa  $\Phi_M$  dan kemudian memperoleh citra SAR kedua (citra *slave*) beberapa waktu kemudian pada waktu T2 dengan mengukur fasa  $\Phi_S$ . Dengan asumsi bahwa pergeseran permukaan terjadi selama periode tertentu, titik P diasumsikan telah bergeser ke P1.

## II.7 PS InSAR

*Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS InSAR) merupakan teknik yang dikembangkan dari InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) yang digunakan untuk mengukur deformasi permukaan tanah. Tujuan dari aplikasi PS InSAR adalah untuk mengidentifikasi deformasi lahan dalam piksel-piksel koheren tunggal dari beberapa citra SAR yang dipisahkan oleh *baseline* besar untuk memperoleh akurasi tinggi (Sneed, dkk., 2013). Tingkat akurasi pengukuran deformasi dengan menggunakan PS InSAR setidaknya dapat mencapai hingga fraksi sub-meter atau bahkan milimeter per tahun. PS InSAR memiliki kelebihan dalam hal pengolahan data dibandingkan dengan metode lain seperti DInSAR yaitu mampu mengeliminasi kesalahan dekorelasi yang terjadi disebabkan waktu pengamatan dengan rentang waktu yang lama. Proses dalam metode PS InSAR menggunakan perhitungan perataan matematika, dan estimasi kesalahan serta terdapat proses pemilahan pada data (Azeriansyah, 2019).

Teknik PS InSAR mirip dengan teknik InSAR konvensional tetapi biasanya membutuhkan 20 atau lebih citra SAR yang diproses secara bersamaan untuk menentukan sebagian variansi amplitudo dari semua citra SAR di setiap piksel. Piksel yang memiliki variansi amplitudo yang relatif tinggi di antara banyak citra SAR dipilih sehingga menghasilkan kumpulan data yang berisi piksel yang stabil. Fase diferensial kemudian dihitung dengan cara yang sama seperti pada proses InSAR konvensional. Namun, fase diferensial dihitung hanya untuk setiap piksel yang stabil dalam batas citra. Model regresi fase diferensial kemudian dihitung untuk pasangan interferometrik yang dipilih, yang mendefinisikan ketergantungan linear fase interferometrik pada perbedaan dalam geometri satelit dari dua gambar SAR yang menyusun pasangan interferometrik (Sneed, dkk., 2013).

## II.8 Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang memiliki sensor aktif dan dapat melakukan penyiaran siang dan malam, mampu menembus awan dan tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca. 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 sehingga membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari dengan konstelasi kedua satelit tersebut. Informasi misi Sentinel-1 dapat dimanfaatkan untuk studi pengamatan es laut, gunung es, tumpahan minyak, angin laut, gelombang dan arus, perubahan penggunaan lahan, deformasi tanah serta untuk merespon keadaan darurat seperti banjir dan gempa bumi. Satelit S-1A dan S-1B dibangun pada orbit dengan roket Soyuz dari Spaceport Eropa di Guyana Perancis. Mode pencitraan pada S-1 memiliki resolusi yang berbeda dari 5 m hingga cakupan 400 km. S-1A menggunakan gelombang saluran C dengan frekuensi 5,405 GHz dan menggunakan tipe orbit *Sun-synchronous* dengan ketinggian 693 kilometer di inklinasi 98,180 Kombinasi S-

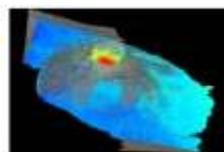
1A dan S-1B memiliki resolusi temporal selama 6 hari. Masa hidup S-1 diperkirakan lebih dari 7 tahun. (EO-College, 2015). Gambaran satelit Sentinel 1 dapat dilihat pada **Gambar II.3**.



**Gambar II.3** Satelit Sentinel 1 (Esa Sentinel Online, 2019)

## II.9 StaMPS

*Standford Method of Persistent Scatterers* merupakan salah satu perangkat lunak yang dikembangkan pertama kali di Stanford University, California dan dikembangkan kembali di University of Iceland, Delft University of Technology dan The University of Leeds. Perangkat ini memiliki kemampuan untuk mengekstraksi deformasi dari hasil pengolahan *Time Series* (TS InSAR) citra SAR, khususnya PS InSAR dan SBAS (Hooper, 2009). StaMPS merupakan *software* yang dikembangkan oleh Andy Hooper sebagai bagian dari penelitiannya mengenai metode pengolahan berbasis InSAR.



**STAMPS**

**Gambar II.4** StaMPS

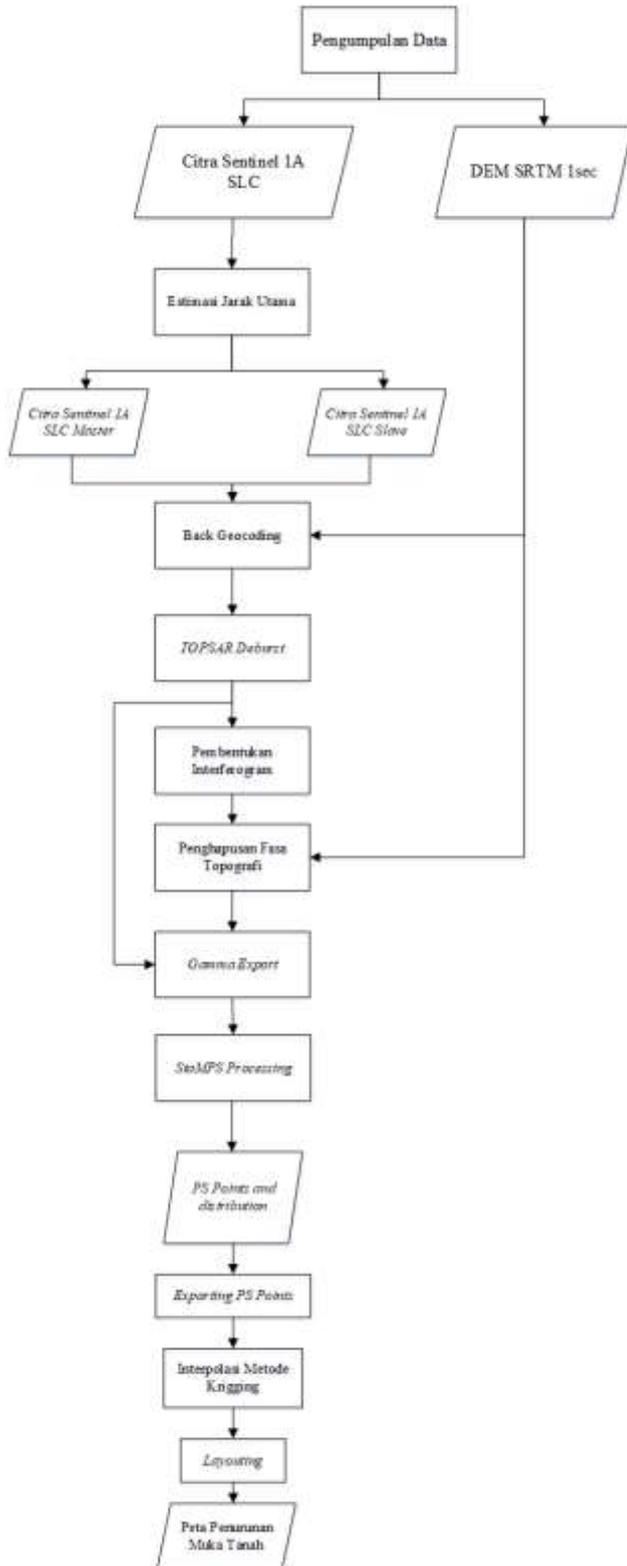
## III. Metodologi Penelitian

### III.1 Pengolahan PS InSAR

Pengolahan PS InSAR dikelompokkan menjadi tiga tahapan, yaitu *pre StaMPS processing*, *StaMPS processing* dan *post StaMPS processing*. Tahapan *pre StaMPS processing* meliputi pengumpulan dan pemilihan data citra SAR dan beberapa proses yang dilakukan pada perangkat lunak SNAP seperti estimasi jarak utama, proses *Back Geocoding*, *Interferogram Formation*, *TOPSAR Deburst*, *Topographic Phase Removal* dan *Gamma Export*. Tahapan *StaMPS Processing* terdiri dari *pre-processing*, 7 tahapan inti dan tahapan *plotting PS points and distribution* yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab yang dijalankan pada OS Linux Ubuntu.

Tahapan *post StaMPS processing* merupakan tahapan *exporting* titik-titik hasil pengolahan PS InSAR.

Titik-titik PS InSAR kemudian diinterpolasi dengan metode interpolasi Kriging untuk mendapatkan data deformasi dengan format *raster*. Pengolahan PS InSAR pada penelitian ini digambarkan pada diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar III.1**.



**Gambar III.1** Diagram Alir

### III.2 Verifikasi Data

Data hasil pengolahan PS InSAR diverifikasi terhadap data sekunder penurunan muka tanah dengan metode SBAS yang diolah menggunakan perangkat lunak GMTSAR dengan 13 citra Sentinel-1 yang diakuisisi pada tahun 2015-2018 dari penelitian Rahmawati A.T. (2019) pada titik-titik verifikasi yang berjumlah sebanyak 25 titik yang ditentukan berdasarkan ketentuan yang mengacu pada aturan dari Modul Validasi Peta Rencana Tata Ruang yang digunakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Persebaran titik-titik verifikasi dilihat pada **Gambar III.2**.



**Gambar III.2** Persebaran Titik Verifikasi

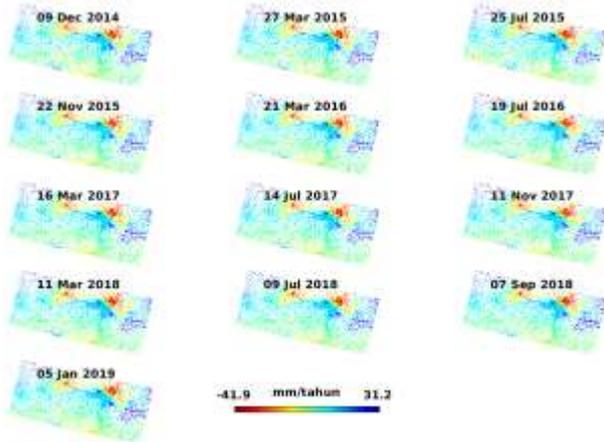
Pada penelitian ini juga dilakukan Uji Kolmogorov-Smirnov (K-S) untuk mengetahui signifikansi data penurunan muka tanah hasil pengolahan PS InSAR terhadap data penurunan muka tanah hasil pengolahan SBAS yang digunakan untuk verifikasi. Data hasil pengolahan SBAS dijadikan sebagai data normal baku dan data hasil pengolahan PS InSAR dijadikan sebagai data yang diuji. Uji K-S dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS Statistics 25.

## IV. Hasil dan Pembahasan

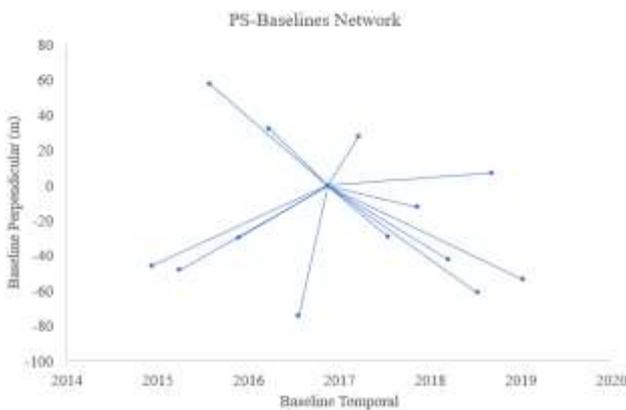
### IV.1 Hasil Pengolahan PS InSAR

Penelitian ini menggunakan metode PS InSAR dengan 14 citra Sentinel 1-A pada rentang waktu 2014-2019 yang mana citra Sentinel 1-A yang diakuisisi pada bulan November 2016 ditetapkan sebagai citra *master* dan 13 citra lainnya sebagai citra *slave* dengan arah sapuan *descending*. Pengolahan dilakukan pada satu sub petak (*sub-swath*) dan dua *burst* yang mencakup wilayah KIK di Kabupaten Kendal. Pengolahan citra Sentinel-1A pada penelitian ini menggunakan program pengolahan PS InSAR StaMPS (Hooper dkk., 2012). Hasil pengolahan PS InSAR adalah titik-titik *Permanent Scatterers* yang tiap titiknya memiliki nilai laju deformasi berupa vektor kecepatan *Line of Sight* (LOS) rata-rata dari citra SAR.

Hasil dari pengolahan PS InSAR berupa *plotting time series displacements* dari distribusi titik PS pada masing-masing rentang waktu citra dapat dilihat pada **Gambar IV.1**. Adapun visualisasi jaringan *baseline* untuk citra yang digunakan untuk pengolahan PS InSAR dapat dilihat pada **Gambar IV.2**.

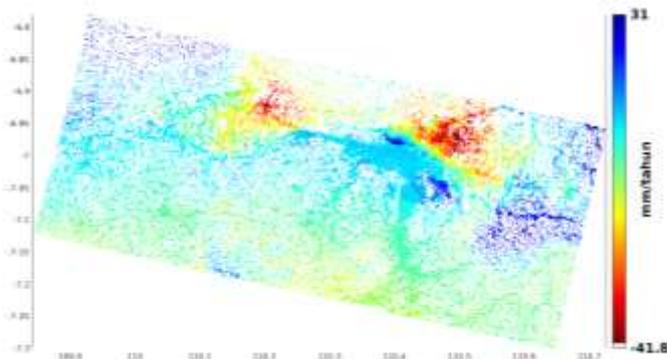


**Gambar IV.1** Hasil Pengolahan Tiap Pasangan Citra *Master* dan *Slave*



**Gambar IV.2** Jaring *Baselines*

**Gambar IV.1** menunjukkan bahwa tingkat maksimum penurunan muka tanah pada PS InSAR *points* mencapai 4,19 cm/tahun dan kenaikan muka tanah sebesar 3,12 cm/tahun. **Gambar IV.2** menunjukkan bahwa hasil *perpendicular baseline* antara citra yang diakuisisi pada bulan November 2016 sebagai citra *master* dengan tiap citra *slave* adalah kurang dari 100 m.

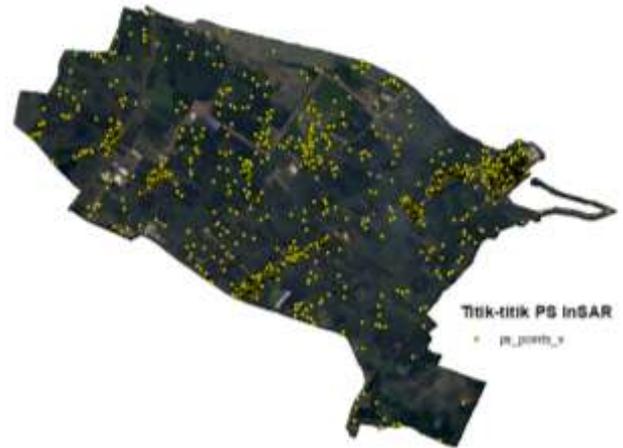


**Gambar IV.3** Vektor Kecepatan LOS PS InSAR

Pengolahan PS InSAR menghasilkan vektor kecepatan LOS (*Line of Sight*) rata-rata dari citra SAR. Hasil vektor kecepatan LOS rata-rata pada penelitian ini

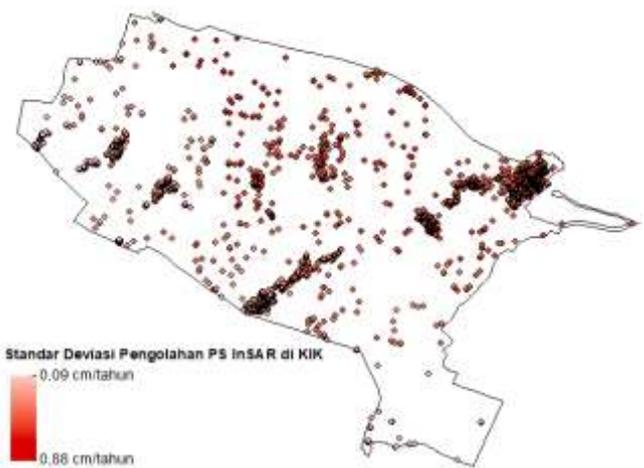
telah dikoreksi oleh kesalahan topografi dan *orbital*. Rentang vektor kecepatan LOS rata-rata dari hasil pengolahan PS InSAR pada penelitian ini berkisar antara -4,18 cm/tahun hingga 3,1 cm/tahun seperti yang dapat dilihat pada **Gambar IV.3**.

Hasil titik-titik PS InSAR yang terdapat pada wilayah KIK berjumlah 2.704 titik yang menyebar di wilayah KIK. Titik-titik PS tersebar tidak merata pada area penelitian dan secara dominan berkumpul dan memiliki jarak yang berdekatan seperti yang terdapat di bangunan industri atau pemukiman yang memiliki karakteristik lapisan permukaan yang keras dan solid seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.4**.



**Gambar IV.4** Persebaran Titik PS InSAR

Tingkat simpangan baku/standar deviasi dari hasil pengolahan PS InSAR pada penelitian ini yang berada di KIK ditunjukkan pada **Gambar IV.5**. Nilai simpangan baku/standar deviasi yang didapatkan berkisar dengan rentang  $\pm 0,09$  cm/tahun hingga  $\pm 0,88$  cm/tahun seperti yang ditunjukkan pada **Gambar IV.5**.



**Gambar IV.5** Standar Deviasi LOS PS InSAR

**IV.2 Hasil Verifikasi Data**

Hasil verifikasi data pengolahan PS InSAR terhadap data sekunder penurunan muka tanah dengan metode SBAS penelitian Rahmawati A. T. (2019) di 25 titik verifikasi diperoleh hasil seperti pada **Tabel IV.1**.

**Tabel IV.1** Hasil Verifikasi Data PMT

Titik	Koordinat (UTM Zona 49S)		SBAS (cm/thn)	PS InSAR (cm/thn)
	X (meter)	Y (meter)		
T1	417.439,621	9.235.859,581	-1,161	-1,957
T2	418.125,422	9.235.484,93	-3,492	-1,536
T3	418.280,565	9.234.614,524	-3,529	-2,563
T4	416.970,875	9.233.685,835	-1,902	-2,349
T5	419.796,631	9.233.820,772	-2,857	-1,123
T6	417.142,008	9.234.484,349	-2,369	-2,53
T7	416.003,641	9.234.482,761	-2,206	-2,298
T8	421.193,595	9.234.874,213	-3,324	-0,703
T9	421.848,44	9.233.673,664	-1,821	-0,783
T10	422.344,535	9.233.815,878	-3,24	-1,058
T11	422.916,697	9.233.531,45	-2,551	-1,334
T12	423.320,188	9.234.044,081	-3,796	-1,32
T13	420.635,488	9.234.043,53	-3,796	-1,03
T14	421.419,575	9.231.301,775	-0,742	-0,739
T15	420.045,466	9.232.653,076	-1,507	-1,066
T16	420.847,102	9.233.043,813	-1,182	-0,983
T17	421.793,254	9.233.450,214	-1,937	-1,066
T18	419.909,946	9.231.816,144	-3,489	-1,37
T19	421.686,362	9.233.045,93	-2,261	-0,945
T20	417.306,618	9.232.874,532	-1,397	-2,197
T21	417.836,05	9.232.988,833	-1,614	-2,531
T22	418.727,168	9.232.942,266	-1,385	-1,85
T23	419.302,903	9.233.327,5	-2,305	-1,105
T24	419.298,67	9.232.163,331	-2,035	-1,491
T25	418.393,793	9.233.393,117	-1,35	-1,869
<b>Standar Deviasi</b>			<b>0,8</b>	
<b>Rata-rata Selisih</b>			<b>1,114</b>	
<b>RMSE</b>			<b>1,379</b>	

Hasil verifikasi menunjukkan RMSE sebesar ± 1,379. Rata-rata selisih hasil SBAS dan PS InSAR adalah sebesar 1,114 cm dan standar deviasi sebesar 0,8 cm.

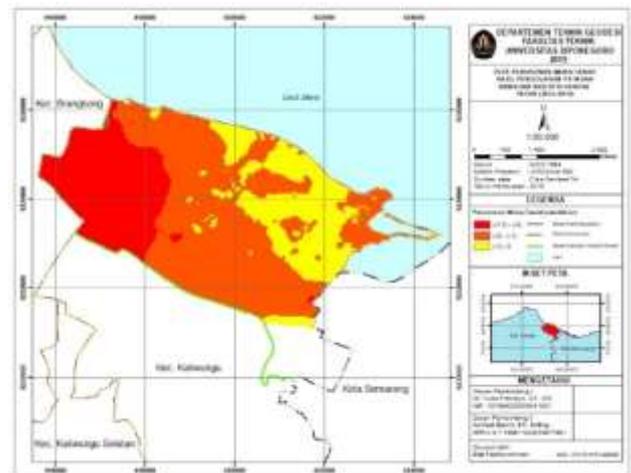
One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
	Unstandardized Residual	Z <sup>a</sup>
N		25
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.0000000
	Std. Deviation	.60679103
Most Extreme Differences	Absolute	.155
	Positive	.100
	Negative	-.155
Test Statistic		.155
Asymp. Sig. (2-tailed)		.122 <sup>c</sup>
a. Test distribution is Normal.		
b. Calculated from data.		
c. Lilliefors Significance Correction.		

**Gambar IV.6** Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov

Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai signifikansi *Asymp.Sig. (2-tailed)* yang diperoleh adalah lebih dari 0,05, yaitu sebesar 0,122 seperti yang dapat dilihat pada **Gambar IV.6**. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil pengolahan PS InSAR sebagai data yang diuji dalam penelitian ini tidak signifikan dan dinyatakan baku sehingga memberikan kesimpulan bahwa data penurunan muka tanah hasil pengolahan PS InSAR memiliki perbedaan yang tidak signifikan terhadap data penurunan muka tanah hasil pengolahan SBAS.

**IV.3 Hasil PMT di Kawasan Industri Kendal**

Interpolasi Kriging dilakukan pada titik-titik PS InSAR untuk memperoleh Peta PMT di KIK. Kriging sesuai digunakan ketika hubungan jarak atau arah dari data yang akan diproses sudah diketahui, dan metode ini banyak digunakan pada aplikasi ilmu tanah dan geologi (Childs, 2011). Hasil proses interpolasi Kriging dari titik-titik PS InSAR yang berada di wilayah KIK dilanjutkan dengan melakukan klasifikasi nilai laju PMT pada wilayah KIK menjadi tiga kelas dan kenaikan muka tanah ditandai dengan daerah yang tidak dipresentasikan oleh warna. Hasil interpolasi Kriging pada titik-titik PS InSAR di KIK menghasilkan data penurunan muka tanah dengan format *raster* yang memiliki resolusi piksel sebesar 25 meter. Hasil berupa Peta PMT di KIK dapat dilihat pada **Gambar IV.7**.



**Gambar IV.7** Peta Penurunan Muka Tanah di KIK

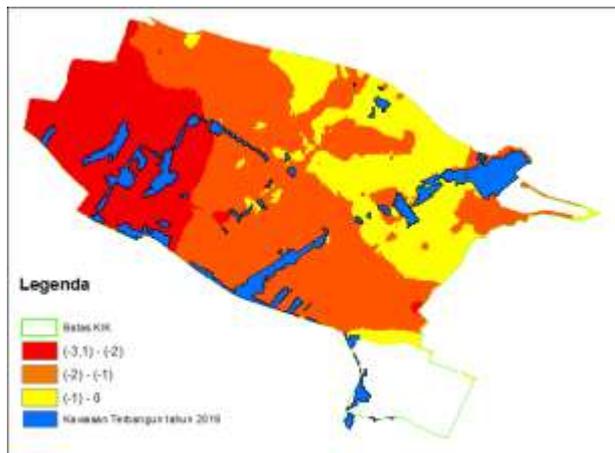
Berdasarkan **Gambar IV.7** maka dapat dilihat bahwa Kawasan Industri Kendal mengalami penurunan muka tanah hingga mencapai  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun dengan nilai rata-rata PMT sebesar  $1,5 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun. Penurunan muka tanah ini terjadi pada 2.350,3 ha (92,3%) dari total luas wilayah KIK dan memiliki pola penurunan muka tanah yang semakin besar kearah barat dan kearah wilayah pesisir. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa daerah yang memiliki nilai penurunan muka tanah yang tergolong kedalam klasifikasi tinggi dengan rentang 2 hingga  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun di wilayah KIK berada di bagian barat wilayah KIK yang mana pada daerah tersebut didominasi oleh

lahan terbuka dan pemukiman dan juga terdapat beberapa industri KIK. Penurunan muka tanah memiliki korelasi dengan susunan stratigrafi dengan penurunan yang relatif mengikuti susunan stratigrafi yang terbentuk dari batuan jenis alluvial yang memiliki penurunan tanah yang lebih tinggi (Fakhri Islam, 2017). Penurunan muka tanah yang terjadi di wilayah KIK juga dapat disebabkan oleh susunan stratigrafi di wilayah KIK yang terbentuk dari batuan jenis alluvial dan kondisi topografi yang cenderung rendah karena berada di wilayah pesisir pantai sehingga PMT yang terjadi di KIK mencapai  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun.

Namun juga terdapat kenaikan muka tanah hingga  $0,8 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun yang berada di bagian tenggara wilayah KIK yang tidak direpresentasikan oleh warna. Kenaikan muka tanah yang terjadi di KIK dapat disebabkan oleh kesalahan mekanisme gelombang hamburan balik terhadap objek di permukaan yang mana pada daerah tersebut terdapat banyak lahan pertanian yang tergenang air sehingga mempengaruhi hasil *backscatter* pada citra.

**IV.4 Analisis Dampak PMT Terhadap Pertumbuhan Kawasan Terbangun di KIK**

Analisis spasial secara visual antara PMT dengan kawasan terbangun seperti bangunan industri dan pemukiman di KIK dilakukan dengan proses *overlay* hasil pengolahan data sekunder berupa data digitasi kawasan terbangun tahun 2013 dan 2019 menggunakan metode SIG dengan hasil PMT dari pengolahan PS InSAR. Data sekunder berupa data digitasi kawasan terbangun yang terdiri dari bangunan industri dan pemukiman di KIK pada tahun 2013 dan tahun 2019 diperoleh dari penelitian Baihaqi H. F. (2019).

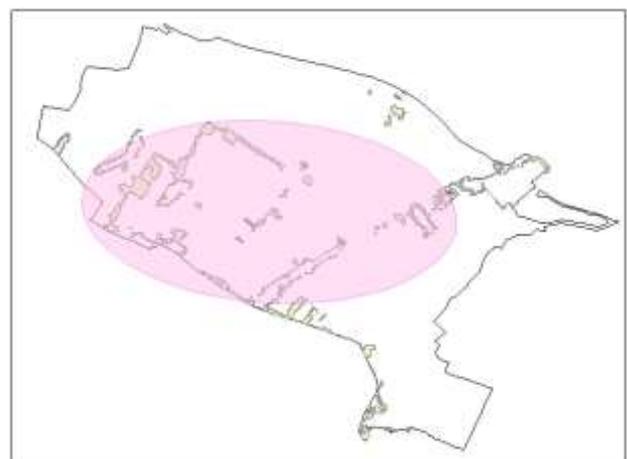


**Gambar IV.8** Hasil *Overlay* PMT dengan Kawasan Terbangun di KIK Tahun 2019

Berdasarkan hasil *overlay* PMT dengan data digitasi kawasan terbangun di KIK tahun 2019 yang divisualisasikan pada **Gambar IV.8**, kawasan terbangun berupa industri-industri yang telah dibangun di wilayah KIK bertampalan dengan daerah yang memiliki nilai PMT yang cenderung rendah hingga sedang dengan rentang  $0,1$  hingga  $2 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun yang terdapat di

bagian timur laut wilayah KIK dekat dengan Pelabuhan Kendal. Sedangkan bangunan industri KIK yang berada di dekat sepanjang jalur pantura hingga ke bagian barat wilayah KIK bertampalan dengan daerah yang memiliki nilai PMT dengan rentang  $1$  hingga  $3 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun. Di sisi barat KIK juga terdapat kawasan terbangun berupa pemukiman untuk tempat tinggal yang memiliki nilai PMT dengan rentang tertinggi, yaitu dari  $2$  hingga  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun.

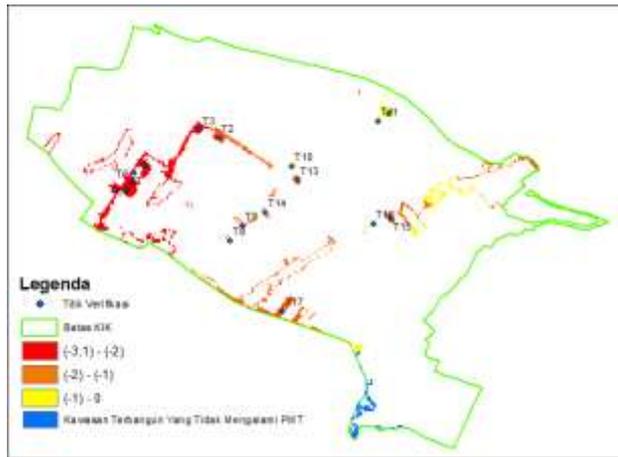
Pola pertumbuhan kawasan terbangun juga diperoleh dengan menggunakan *Standard Devotional Ellipse* pada *software* ArcGIS untuk mengetahui arah perkembangan kawasan terbangun di wilayah KIK dari tahun 2013-2019. Pola perkembangan kawasan terbangun di wilayah KIK pada periode tahun 2013-2019 dapat dilihat pada **Gambar IV.9**.



**Gambar IV.9** Pola Perkembangan KIK Tahun 2013-2019

*Ellips* yang terbentuk berupa *ellips* memanjang tidak simetris karena sumbu X lebih besar dari sumbu Y yang menunjukkan arah perubahan cenderung horizontal terhadap pusat *ellips*. Nilai rotasi menunjukkan arah perubahan searah jarum jam sebesar  $94^0$  yang mengarah dari timur ke barat. Tahun 2013-2019 arah *ellips* menunjukkan pusat perubahan berada di daerah dekat bangunan industri KIK yang terletak dekat dengan jalan yang menghubungkan jalan pantura dengan kawasan industri KIK hingga wilayah pesisir bagian utara wilayah KIK. Perubahan kawasan terbangun banyak terjadi di daerah bagian barat wilayah KIK. Perkembangan kawasan terbangun diantaranya terdiri dari peningkatan infrastruktur berupa jalan akses utama KIK serta pembangunan industri KIK.

Berdasarkan hasil PMT dan pola perkembangan kawasan terbangun berupa industri dan pemukiman di wilayah yang masing-masing ditunjukkan pada **Gambar IV.7** dan **Gambar IV.9**, maka dapat dilihat bahwa terdapat korelasi secara spasial yang cukup kuat antara pola perkembangan kawasan terbangun yang terjadi karena adanya pembangunan industri KIK dengan PMT di wilayah KIK karena keduanya memiliki arah yang sama yang mana semakin besar ketika mengarah ke bagian barat wilayah KIK.



**Gambar IV.10** Kawasan Terbangun KIK Terdampak PMT

Pertumbuhan kawasan terbangun di KIK dari tahun 2013-2019 diperoleh dengan menggunakan *tools GIS Symmetrical Difference* pada perangkat lunak ArcGIS menggunakan data sekunder digitasi kawasan terbangun tahun 2013 dan 2019. Hasil PMT kemudian di-*overlay* dan dipotong dengan *shapfile* hasil proses *Symmetrical Difference* untuk mengetahui dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun di KIK. Visualisasi hasilnya dapat dilihat pada **Gambar IV.10**.

**Tabel IV.2** Contoh Hasil Verifikasi Lapangan

No	Koordinat (X, Y dalam meter)	Nilai PMT (cm/thn)	Foto	Status
T1	416.967,210 9.233.700,331	-2,3		Beroperasi
T5	417265,782 9233965,217	-2,5		Beroperasi
T10	419705,403 9234075,154	-1		Beroperasi
T17	419553,508 9231804,499	-1,5		Beroperasi

Dari hasil tersebut kemudian dilakukan verifikasi di lapangan untuk mengetahui apakah PMT yang terjadi di KIK berdampak pada bangunan-bangunan baru di KIK yang mewakili pertumbuhan kawasan terbangun di KIK dari tahun 2013 hingga 2019. Proses verifikasi berupa pengecekan langsung di lapangan dilakukan pada 17 titik verifikasi yang merupakan kawasan terbangun berupa bangunan pabrik dan industri di KIK yang dipilih secara acak dan tersebar sesuai dengan hasil proses yang telah

dilakukan sebelumnya seperti yang dapat dilihat pada **Gambar IV.10**. Contoh hasil Verifikasi lapangan dapat dilihat pada **Tabel IV.2**.

Berdasarkan hasil verifikasi yang diperoleh dari *survey* lapangan pada 17 titik verifikasi, Bangunan-bangunan di wilayah KIK masih beroperasi meskipun mengalami PMT dengan nilai yang bervariasi. Dampak PMT terhadap bangunan-bangunan di KIK seperti kerusakan pada bangunan cenderung tidak bisa dilihat secara kasat mata karena hampir semua bangunan-bangunan industri dan pabrik tersebut telah mengantisipasi adanya laju penurunan muka tanah yang terjadi pada masing-masing wilayah di KIK dengan menaikkan pondasi permukaan bangunan sehingga industri dan pabrik yang dibangun tidak akan mengalami kerusakan akibat dampak dari PMT dalam kurun waktu yang dekat. Namun terdapat satu bangunan di titik T5 yang menunjukkan adanya dampak dari PMT. Bangunan tersebut terletak di daerah yang memiliki nilai PMT sebesar  $2,5 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun dan pada dokumentasi yang telah diambil di lapangan bangunan tersebut terlihat miring karena mengalami dampak dari adanya PMT.

Dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun di KIK yang didominasi oleh peningkatan pembangunan industri dan pabrik cenderung tidak parah dan sulit diidentifikasi berdasarkan hasil verifikasi yang telah diperoleh dengan melakukan *survey* langsung ke lapangan. Bangunan-bangunan industri dan pabrik di KIK tampaknya telah diantisipasi untuk waktu dekat dalam menghadapi adanya penurunan muka tanah yang terjadi di KIK. Namun percepatan PMT yang terjadi pada KIK baru dapat dilihat dan dialami oleh bangunan-bangunan industri dan pabrik di KIK pada kurun waktu yang lama seperti sepuluh hingga dua puluh tahun mendatang dan berpotensi dapat merusak struktur bangunan. Berdasarkan hasil yang dapat dilihat pada **Gambar IV.10**, pertumbuhan kawasan terbangun yang tergolong kedalam kelas PMT tinggi dengan rentang nilai  $2 \pm 1,379$  cm/tahun hingga  $3,1 \pm 1,379$  cm/tahun mencapai 38,5% dengan luas sebesar  $401.033$  m<sup>2</sup>, kedalam kelas PMT sedang dengan rentang nilai  $1 \pm 1,379$  cm/tahun hingga  $2 \pm 1,379$  cm/tahun sebesar 37,4% dengan luas  $389.802$  m<sup>2</sup> dan kelas terendah sebesar 15,8% dengan luas  $164.818$  m<sup>2</sup>. Sedangkan pertumbuhan kawasan terbangun yang tidak mengalami PMT adalah sebesar 8,3% dengan luas  $85.941$  m<sup>2</sup>.

**V. Penutup**

**V.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian memiliki kesimpulan menjawab rumusan masalah. Berikut adalah kesimpulan dalam penelitian ini:

1. Berdasarkan hasil verifikasi penurunan muka tanah rata-rata hasil pengolahan metode PS InSAR terhadap hasil metode SBAS pada 25 titik verifikasi di wilayah KIK, diperoleh nilai RMSE sebesar  $\pm 1,379$  cm dengan selisih nilai pada titik yang dijadikan acuan sebesar 0,003 hingga 2,766 cm. Rata-rata selisih hasil SBAS dan PS InSAR adalah sebesar 1,205 cm. Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov menyatakan bahwa hasil pengolahan metode PS

InSAR dan SBAS tidak terdapat perbedaan signifikan karena nilai signifikansinya lebih dari 0,05, yaitu sebesar 0,122.

2. Hasil pengolahan PS InSAR menunjukkan bahwa Kawasan Industri Kendal mengalami penurunan tanah maksimum sebesar  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun dengan rata-rata  $1,5 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun dalam kurun waktu tahun 2014-2019. Penurunan muka tanah ini terjadi pada 2.350,3 ha (92,3%) dari total luas wilayah KIK. Penurunan muka tanah dan pertumbuhan kawasan terbangun di KIK memiliki korelasi yang kuat berdasarkan pola dan arah yang sama yang mana penurunan muka tanah memiliki nilai yang semakin besar kearah barat dan pola pertumbuhan kawasan terbangun di KIK pun mengarah dari timur ke barat. Dampak PMT terhadap pertumbuhan kawasan terbangun di KIK yang didominasi oleh peningkatan pembangunan industri dan pabrik cenderung tidak parah dan sulit diidentifikasi berdasarkan hasil verifikasi dengan melakukan *survey* langsung ke lapangan. Pertumbuhan kawasan terbangun yang tergolong kedalam kelas PMT tinggi dengan rentang nilai 2 hingga  $3,1 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun mencapai 38,5% dengan luas sebesar 401.033 m<sup>2</sup>, kedalam kelas PMT sedang dengan rentang nilai 1 hingga  $2 \pm 0,09$  hingga  $0,88$  cm/tahun sebesar 37,4% dengan luas 389.802 m<sup>2</sup> dan kelas terendah sebesar 15,8% dengan luas 164.818 m<sup>2</sup>. Sedangkan pertumbuhan kawasan terbangun yang tidak mengalami PMT adalah sebesar 8,3% dengan luas 85.941 m<sup>2</sup>.

## V.2 Saran

Pada Penelitian ini ditemukan beberapa saran sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah saran yang dapat disampaikan:

1. Disarankan untuk menggunakan citra SAR dan DEM yang memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Disarankan untuk mencari jurnal referensi yang menggunakan data citra SAR dan perangkat lunak yang sama agar dapat dijadikan acuan dalam penentuan parameter pengolahan PS InSAR.
3. Proses verifikasi PS InSAR akan lebih baik jika menggunakan *corner reflector* sehingga proses verifikasi dapat dilakukan secara maksimal.
4. Penggunaan perangkat lunak lain seperti DePSI dalam pengolahan PS InSAR dapat digunakan sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan pengolahan PS InSAR yang menggunakan perangkat lunak StaMPS.

## DAFTAR PUSTAKA

Annisa, T. R. 2020. Studi Penurunan Muka Tanah Dengan Metode Small Baseline Area Subset (Sbas) Menggunakan Citra Sentinel-1a (Studi Kasus: Kota Semarang). Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro: Semarang.

- Azeriansyah, R. 2019. Estimasi dan Koreksi Kesalahan Troposfer pada Pemantauan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Metode Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar. Tesis Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Childs, C. 2011. *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. Education, 4.
- Cumming, I. dan Wong, F. 2005. *Digital Processing Of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*. Artech House.
- EO-College. 2015. EO College Learning ESA. FriedrichSchiller University in Jena, Germany. <https://eocollege.org/>
- Fakhri Islam, L. J., Prasetyo, Y., dan Sudarsono, B. 2017. Analisis Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode Dinsar Pada Perangkat Lunak Snap. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(2), 29–36.
- Hanum, F. B. 2020. Analisis Perkembangan Kawasan Industri Kendal Terhadap Perubahan Suhu Permukaan (Studi Kasus: Kawasan Industri Kendal, Kabupaten Kendal). Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro: Semarang.
- Hooper, A. 2009. *StaMPS/MTI Manual*. Stanford University USA.
- Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K., dan Arian, M. 2012. Recent Advances in SAR Interferometry Time Series Analysis for Measuring Crustal Deformation. *Tectonophysics*, 514-517, pp.1-13. doi : 10.1016/j.tecto.2011.10.013.
- Kawasan Industrial Park. 2020. About Kendal IndustrialPark. <https://www.kendalIndustrialPark.co.id/page/index/16/about-us?p=1> . Diakses pada 21 Maret 2020.
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 41. 1996.
- Leslie, R. V. 2018. Microwave Sensors. In *Comprehensive Remote Sensing*, 435–474. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10328-8>
- Makhoul, E. 2010. Adaptive Digital Beam-Forming for High-Resolution Wide-Swath Synthetic Aperture Radar.
- Prasetyo, Y. 2014. Optimization of Analysis and Determination of Land Subsidence Estimated Using Light Permanent Scatterer Interferometric SAR (LPSInSAR). Disertasi Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- 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 Geodesi Universitas Diponegoro*: Semarang.
- Sheng, Y., Wang, Y., Ge, L. dan Rizos, C. 2009. Differential Radar Interferometry and Its Application in Monitoring Underground Coal Mining-Induced Subsidence. *Gsem* 2009, (1989),

227–232.

Sneed, M., Brandt, J. dan Solt, M. 2013. Land subsidence along the Delta-Mendota Canal in the northern part of the San Joaquin Valley, California, 2003–10. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 5142, 87.  
<http://dx.doi.org/10.3133/sir20135142>

Undang-Undang Tentang Perindustrian Nomor 5. 1984.

Zhu, L., Suomalainen, J., Liu, J., Hyypä, J., Kaartinen, H. dan Haggren, H. 2018. A Review: Remote Sensing Sensors. In R. B. Rustamov, S. Hasanova, & M. H. Zeynalova (Eds.), *Multi-purposeful Application of GeospatialData*.<https://doi.org/10.5772/intechopen.71049>.