

STUDI KORELASI KAPASITAS AKUIFER TERHADAP PENURUNAN MUKA TANAH DENGAN METODE PS-InSAR (STUDI KASUS : KOTA SEMARANG)

Diyanah^{*)}, Yudo Prasetyo, Hana Sugiastu Firdaus

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : diydiy96.dd@gmail.com

ABSTRAK

Air merupakan sumber daya alam yang menjadi hal pokok yang dibutuhkan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Pemakaian air dalam kehidupan sehari-hari masyarakat maupun kegiatan industri masih mengandalkan dari alam, yaitu berupa air tanah. Pengambilan air terus menerus terutama di kota-kota besar yang ada di Indonesia akan berdampak buruk bagi lingkungan yang mengakibatkan perubahan dari lingkungan itu sendiri. Perubahan lingkungan akibat dari dampak pengambilan air yang mungkin terjadi adalah penurunan muka tanah (PMT). Untuk itu pada penelitian ini akan mengkaji hubungan korelasi antara dua hal tersebut.

Pengamatan perubahan akuifer pada penelitian ini diamati pada dua jenis akuifer, yaitu akuifer dalam dan akuifer dangkal menggunakan data muka air tanah (MAT) dari sumur pantau pada akuifer dalam dan data MAT sumur dangkal pada akuifer dangkal. Sedangkan untuk pengamatan penurunan muka tanah menggunakan metode PS InSAR. Metode tumpang susun digunakan untuk mengorelasikan pengaruh perubahan akuifer dangkal terhadap PMT di Kota Semarang. Pengamatan pada akuifer dalam, digunakan hubungan korelasi yang dilihat dari kenaikan dan penurunan grafik dari MAT akuifer dalam dan kenaikan dan penurunan muka tanah rata-rata dari PS InSAR.

Hasil pengolahan PS InSAR didapatkan nilai rata-rata penurunan muka tanah rata-rata pertahun dengan rentang $0 \pm 3,4$ cm hingga $4,5 \pm 3,4$ cm dan dari hasil pengolahan didapatkan informasi penurunan muka tanah terbesar terdapat pada daerah Kecamatan Semarang Utara, Semarang Barat, Pedurungan dan Genuk. Hasil korelasi menunjukkan bahwa perubahan akuifer dangkal memiliki pengaruh dengan penurunan muka tanah dengan tingkat korelasi yang sangat tinggi, sebesar 47,58%, korelasi tinggi sebesar 16,09%, korelasi sedang sebesar 16,29% dan rendah sebesar 20,02 %. Sedangkan pada perubahan kapasitas akuifer dalam tidak berpengaruh pada penurunan muka tanah.

Kata Kunci : Akuifer, Korelasi, MAT, Penurunan Muka Tanah, PS InSAR.

ABSTRACT

Water is a natural resource that becomes the main thing that peoples need in daily life. Water use in the daily life of society and industrial activity still rely from nature, that is ground water. Continuous water retention, especially in big cities in Indonesia, will have adverse impacts on the environment, resulting in changes from the environment itself. The environmental change resulting from the impact of water retrieval that may occur land subsidences. For that in this study will examine the correlation relationship between two things.

Observations of aquifer changes in this study were observed in two types of aquifers, namely deep aquifers and shallow aquifers using groundwater data from wells observed in deep aquifities and shallow shallow surface of groundwater data in shallow aquifers. As for observation of land subsidence using PS InSAR method. The overlapping method is used to correlate the effect of shallow aquifer changes to the PMT in Semarang City. The observations on the deep aquifers used the correlation relationship seen from the increase and decrease in graph of the deep aquifer MAT and the increase and decrease in mean face of the PS InSAR.

The result of PS InSAR processing obtained the average value of the land subsidence with a range of $0 \pm 3,4$ cm up. $4,5 \pm 3,4$ cm and from result of processing obtained information of the biggest decrease in land surface is in Sub District Semarang Utara, Semarang Barat, Pedurungan and Genuk. The correlation results show that shellow aquifer changes have an effect with decrease of land subsidence with very high correlation rate, 47,58%, correlation height 16,09%, medium correlation 16,29 % and low by 20.02%. While in deep aquifer alteration capacity has no effect on land subsidence.

Key Words : *Aquifer, Correlation, Land Subsidence, PS InSAR, Surface of Ground Water.*

^{*)} Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Penurunan muka air tanah karena eksploitasi berlebihan dalam penggunaannya merupakan suatu fenomena yang ada di beberapa daerah di Indonesia, khususnya di kota-kota besar. Semarang merupakan salah satu Kota besar yang ada di Indonesia dengan kepadatan penduduk yang meningkat dan mengakibatkan meningkat pula jumlah kebutuhan akan air bersih. Data menunjukkan bahwa kebutuhan air bersih perpipaan bersumber dari 7 bangunan produksi dengan kapasitas total sebesar 1.853 lt/dt atau 58.436.208 m³ (Bappeda, 2010). Kebutuhan air di Kota Semarang pada tahun 1999 sebesar 48.407.307 m³, pada tahun 2005 total kebutuhan naik menjadi 68.568.239 m³. Pengambilan air tanah yang terus-menerus dan dalam jumlah yang besar, pada setiap aktifitas di kota-kota besar khususnya Semarang dapat mengakibatkan dampak bagi lingkungan, salah satunya adalah fenomena penurunan muka tanah.

Interferometric Synthetic Aperture RADAR (InSAR) menjadi salah satu teknik dalam pengamatan deformasi. Pengamatan dengan teknik ini, dapat diaplikasikan juga pada peristiwa dengan rentang waktu tertentu, atau disebut juga sebagai TS-InSAR. PS InSAR atau *Persistents Scatterers Interferometric SAR* adalah metode lain yang dalam Prasetyo, dkk. (2014) disebutkan mampu menjadi salah satu pendeteksi penurunan muka tanah secara efektif mampu mengeliminasi kesalahan dekorelasi yang diakibatkan oleh adanya rentang waktu yang lama.

Pada penelitian ini menggunakan metode PS InSAR, dan SIG untuk menganalisis korelasi pada pola perubahan kapasitas akuifer terhadap penurunan muka tanah. Untuk pengolahan PS InSAR menggunakan Citra Sentinel 1-A. Sentinel 1-A untuk mengetahui besaran nilai penurunan muka tanah yang ada di wilayah Semarang, yang kemudian pola kapasitas akuifer diperoleh dari SIG menggunakan data geologi. Pengamatan pola kapasitas akuifer pada penelitian ini, terbagi menjadi dua pengamatan yaitu pada akuifer dangkal dan akuifer dalam

Selanjutnya, dilakukan studi korelasi pada dua jenis akuifer yaitu akuifer dalam dan akuifer dangkal. Korelasi di akuifer dalam menggunakan hubungan dari perubahan nilai rata-rata MAT sumur pantau akuifer dalam dan penurunan muka tanah (PMT) rata-rata. Korelasi pada akuifer dangkal adalah dengan menggunakan korelasi spasial antara kapasitas akuifer dengan penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Semarang. Harapannya, hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi kepentingan konservasi cadangan air tanah dan penggunaannya di Kota Semarang sehingga dapat dilakukan pencegahan terhadap dampak buruk dari pengambilan air tanah dengan rentang waktu tertentu.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil analisa penurunan muka tanah dari pengolahan citra Sentinel 1-A dengan metode PS InSAR tahun 2014-2017?
2. Bagaimana validasi di lapangan terkait penurunan muka tanah?
3. Bagaimana tingkat dan jenis korelasi pola perubahan kapasitas akuifer terhadap penurunan muka tanah di Kota Semarang?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besaran penurunan muka tanah di Kota Semarang tahun 2014-2017.
2. Mengetahui hasil validasi terkait penurunan muka tanah.
3. Mengetahui hasil korelasi pola perubahan kapasitas akuifer terhadap penurunan muka tanah di Kota Semarang.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi bagi ilmu penginderaan jauh dan sistem informasi geografis, khususnya mengenai PS InSAR.
2. Harapannya hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi kepentingan konservasi cadangan air tanah Kota Semarang.

I.4. Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dalam mengetahui besaran nilai penurunan muka tanah rata-rata per tahun pada citra Sentinel 1-A adalah dengan metode MT-InSAR (PS InSAR) dari rentang tahun 2014-2017.
2. Metode pengamatan pola perubahan kapasitas akuifer yang dihitung secara kualitatif menggunakan model dari perubahan muka air tanah dengan rentang tahun 2014-2017 pada akuifer dalam, dan 2003-2016 pada akuifer dangkal.
3. Metode korelasi yang digunakan adalah dengan melakukan model korelasi secara spasial yaitu dengan menggunakan *overlay* pada peta penurunan muka tanah, peta perubahan zonasi muka air tanah dangkal pada akuifer dangkal. Serta ditambahkan dengan korelasi dari grafik MAT akuifer dalam dengan penurunan muka tanah rata-rata per tahun.
4. Proses korelasi pada penelitian ini, hanya difokuskan pada daerah yang mengalami penurunan muka tanah. Daerah dengan kenaikan muka tanah serta daerah yang diidentifikasi sebagai lahan tambak tidak termasuk dalam daerah yang dikorelasikan.

5. Keluaran dari penelitian tugas akhir ini adalah Peta Penurunan Muka Tanah, Peta Zonasi Penurunan Muka Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang, dan Peta Korelasi Pola Perubahan Kapasitas Akuifer terhadap Penurunan Muka Tanah
6. Pada penelitian ini tidak dibahas kajian geologi dari penelitian.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Kondisi Umum Wilayah Penelitian

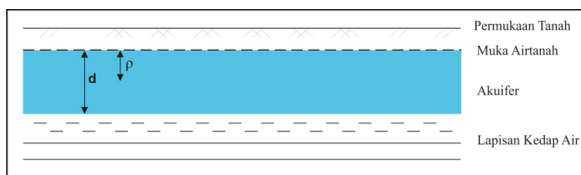
Area studi penelitian ini adalah di Kota Semarang, Jawa Tengah. Kota Semarang berada antara 6°50' - 7°10' LS dan 109°35' - 110°50' BT.

Daerah Semarang didominasi oleh struktur tanah Alluvial, kecuali pada daerah Semarang bagian selatan didominasi oleh perbukitan dengan batuan breksi lahar vulkanik yang lebih kompleks. Batuan yang terbentuk atas hasil erupsi gunung Ungaran yang menjadi daerah tertinggi yang ada di Semarang. Sungai-sungai di Semarang mengalir ke arah utara yaitu ke Laut Jawa. Satuan morfologi dibedakan menjadi satuan dataran pantai (ketinggian 0-50 m di atas muka Laut), satuan perbukitan (ketinggian 50-500 m), dan satuan kerucut gunung api dengan puncaknya Gunung Ungaran (2050 m di atas permukaan laut).

Menurut Setyawan (2006), akuifer berdasarkan karakteristik batuan terhadap airtanah, Kota Semarang memiliki 2 jenis akuifer, yaitu akuifer semi tertekan dan akuifer bebas. Akuifer semi tertekan berada di Delta Kaligarang, sedangkan akuifer bebas berada pada dataran alluvial pantai, berasosiasi dengan kipas alluvial dan dataran banjir. Kedalaman akuifer bebas di Kota Semarang antara 1-5m di bawah. Kedalaman akuifer bebas semakin dangkal pada daerah yang mendekati pantai.

II.2. Muka Air Tanah (MAT)

Muka air tanah didefinisikan sebagai permukaan dimana tekanan zat cair dalam pori-pori dari sebuah media adalah sama dengan tekanan atmosfer (Sosrodarsono dan Takeda, 1983). Muka air tanah merupakan bagian dari sistem akuifer yang ada di lapisan bumi, pada Gambar 1 dijelaskan bagaimana terjadi penurunan muka air tanah karena adanya perubahan ketinggian kapasitas akuifer menjadi lebih sedikit dilambangkan dengan *d*, banyak atau jumlah akuifer dalam satuan tinggi..



Gambar 1 Penurunan Muka Air tanah (Badan Geologi, 2017)

Perhitungan penurunan muka air tanah adalah sebagai berikut:

d = tebal kolom airtanah awal

ρ = penurunan kolom air tanah setelah pengambilan air tanah.

Perubahan muka airtanah (*s*) = $\rho/d \times 100\%$

- Aman : *s* < 40%
- Rawan : *s* antara 40%-60%
- Kritis : *s* antara 60%-80%
- Rusak : *s* > 80%

II.3. Akuifer

Ada beberapa pengertian akuifer berdasarkan pendapat para ahli, Todd (1955) menyatakan bahwa akuifer berasal dari bahasa latin yaitu *aqui* dari kata *aqua* yang berarti air dan kata *ferre* yang berarti membawa, jadi akuifer adalah lapisan pembawa air. Herlambang (1996) menyatakan bahwa akuifer adalah lapisan tanah yang mengandung air, di mana air ini bergerak di dalam tanah karena adanya ruang antar butir-butir tanah. Berdasarkan kedua pendapat, dapat disimpulkan bahwa akuifer adalah lapisan bawah tanah yang mengandung air dan mampu mengalirkan air. Hal ini disebabkan karena lapisan tersebut bersifat permeable yang mampu mengalirkan air baik karena adanya pori-pori pada lapisan tersebut ataupun memang sifat dari lapisan batuan tertentu.

II.4. Penurunan Muka Tanah

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 dalam Ramadhanis, 2017). Penyebab terjadinya penurunan muka tanah dapat terjadi baik secara local maupun regional.

II.5. RADAR

RADAR merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengumpulan data, gelombang tersebut diterima balik oleh satelit yang memancarkan. Spesifikasi Gelombang pada RADAR pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Gelombang pada RADAR (Schowengerdt, 2006 dalam Prasetyo, 2014)

Rentang Panjang Gelombang	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)	Keterangan
KA	0,75-1,1	27-40	Gelombang pendek yang ini sudah jarang digunakan
KA	1,1-1,67	18-27	Banyak digunakan untuk satelit komunikasi
Ku	1,67-2,4	12-18	Gelombang yang biasa digunakan untuk satelit komunikasi
X	2,4-3,75	8-12	Lebih sensitif dan dapat mendeteksi partikel yang lebih kecil. Dapat menembus sampai permukaan kanopi vegetasi atau pohon
C	3,75-7,5	4-8	Biasa digunakan pada sistem <i>airborne</i> dan <i>spaceborne</i>
S	7,5-15	2-4	Digunakan pada satelit ALMAZ milik Rusia
L	15-30	1-2	Tidak menyentuh struktur tanah dan dapat membedakan area hutan lebat dengan hutan yang sudah terbatat
P	30-100	1-0,3	Penetrasi sampai permukaan bumi

II.5. InSAR

Konsep dasar metode InSAR dan DInSAR adalah memanfaatkan koherensi (ukuran korelasi atau kesesuaian informasi fasa dari sinyal-sinyal yang bersangkutan) dalam pengukuran fasa untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua atau lebih citra SAR yang memiliki nilai kompleks dari area yang sama. Jika terdapat dua citra dalam pengamatan tunggal kompleks dari area yang sama maka informasi fasa dari kedua citra dalam bentuk bilangan kompleks tersebut dapat dikombinasikan. Hasil perbedaan fasa ini akan menghasilkan citra beda fasa yang disebut interferogram, dimana garis-garis tepinya (*fringes*) mengindikasikan semua informasi geometri relatif (Prasetyo, 2014).

Pada beberapa tahun belakangan *Interferometric Synthetic Aperture RADAR* (InSAR) secara luas digunakan untuk mengidentifikasi penurunan muka tanah. Biasanya dikombinasikan dengan pengukuran pemantauan secara tradisional seperti *Global navigation Satellite System* (GNSS). Namun terdapat kekurangan pada teknik ini, InSAR dapat mendeteksi dan memantau penurunan muka tanah dengan biaya yang terjangkau dengan ketelitian *centimeter* sampai *milimeter*. Namun, permasalahan mungkin terjadi dikarenakan perubahan hamburan efek dari seri waktu pada pengamatan jangka panjang. Mengatasi keterbatasan dari teknik tersebut *Time Series InSAR* dicanangkan sebagai salah satu metode alternatif. (Zhou dkk., 2017).

II.6. MT InSAR

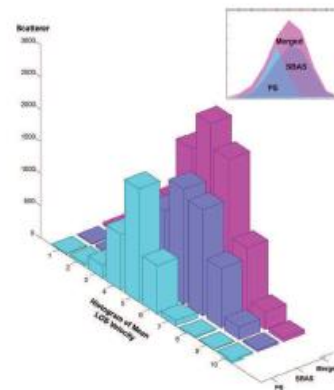
InSAR secara konvensional meliputi dekorelasi dari sinyal interferometrik yang disebabkan karena adanya perbedaan dalam perbedaan antara dua buah akuisisi data SAR. Dekorelasi dari sinyal interferometrik tersebut perubahan topografi dari yang ada di lapangan, perubahan kondisi atmosfer. Serta adanya penambahan dari perubahan karakteristik dielektirkal dari hamburan yang dikarenakan dari faktor temporal dan faktor geometrik dekorelasi baseline yang terdapat dalam pembentukan interferogram pada metode DInSAR. DELFT presisi data orbit dapat digunakan untuk menghapus Orbital error data (Sharoo dan Visser, 1998 dalam Seyafallah, B. 2013).

Multi Temporal InSAR atau biasa disebut sebagai *Time Series Analysis* memiliki kemampuan untuk mengurangi dekorelasi sinyal dan residual dari proses multiple SAR yang berada pada sepanjang jalur yang sama untuk mendapatkan kualitas rasio dari sinyal *noise* yang terbaik. Dari sinyal tersebut dikualifikasi dan dikembangkan juga beda fase matriks korelasi sinyal yang terkualifikasi (Seyfallah, 2013).

II.6. PS InSAR

PS InSAR pertama kali dipublikasikan sebagai salah satu teknik pengamatan deformasi yang tertuang

dalam sebuah jurnal *Permanent Scatterers in SAR Interferometry* di sebuah Simposium Internasional *Remote Sensing dan Geoscience* di Hamburg, Jerman, 28 Juni-2 July 1999 dalam Prasetyo, (2014). PS InSAR memiliki kelebihan dalam hal pengolahan data dibandingkan dengan metode lain seperti DInSAR, yaitu mampu mengeliminasi kesalahan dekorelasi yang terjadi dikarenakan 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.



Gambar 2. Perbandingan antara metode SBAS, Metode PS InSAR dan Gabungannya (Seyfallah, 2013)

II.7. Korelasi

Korelasi menyatakan derajat hubungan antara dua variabel tanpa memperhatikan variabel mana yang menjadi peubah. Karena itu hubungan korelasi belum dapat dikatakan sebagai hubungan sebab akibat. Analisis korelasi bertujuan untuk mengukur kekuatan asosiasi (hubungan) linear antara dua variabel. Korelasi tidak menunjukkan hubungan fungsional atau dengan kata lain, analisis korelasi tidak membedakan antara variabel dependen dengan variabel independen.

II.8 Metode Tumpang Susun

Tumpang susun adalah analisa spasial esensial yang mengkombinasikan dua layer/tematik yang menjadi masukannya. Secara umum teknis mengenai analisis ini terbagi ke dalam format data raster atau vektor (Prahasta, 2001 dalam Pratiwi, 2016 dalam Ramadhanis, 2017).

1. Vektor

Pada format ini beberapa perangkat lunak sistem informasi geografis membaginya dalam dua kelompok, yaitu intersect dan union. Pada intersect, layer 2 akan memotong layer 1 begitu pula sebaliknya untuk menghasilkan layer output yang berisi atribut-atribut baik dari tabel atribut milik layer 1 maupun tabel atribut milik layer 2. Sementara pada union, analisis spasial akan mengkombinasikan layer baru (yang berdominan spasial terluas). Layer baru yang

dihasilkan (output) akan berisi atribut yang berasal dari kedua tabel aribut yang menjadi masukkannya.

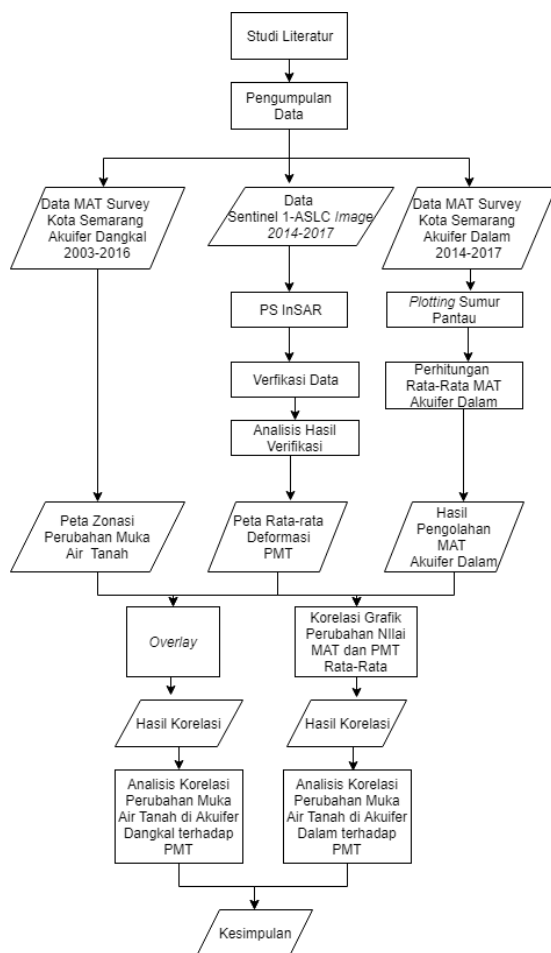
2. Raster

Secara umum, dalam terminology data raster, fungsi analisis spasial *overlay* diwujudkan dalam bentuk pemberlakuan beberapa operator aritmatika yang mencakup kebanyakan kasus dimana dua masukkan citra digital digunakan untuk menghasilkan sebuah citra digital lainnya (*output*). Dengan demikian pada analisis spasial ini nilai-nilai piksel citra akan dikombinasikan menggunakan operator aritmatika dan biner untuk menghasilkan nilai-nilai piksel baru (*composite*). Pada raster/grid, *layers* peta dapat dinyatakan sebagai variabel-variabel aritmatika yang bisa dikenakan oleh fungsi-fungsi aljabar.

III. Metodologi Penelitian

III.1. Pengolahan Data

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

III.2. Data dan Peralatan Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Data SLC *Image* Sentinel 1-A level 1 2014-2017
2. Data DEM SRTM tahun 2011

3. Data survey MAT Kota Semarang pada akuifer dalam dan akuifer dangkal 2014-2017 pada akuifer dalam dan 2003-2016 pada akuifer dangkal

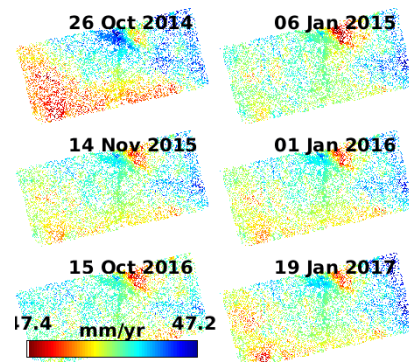
4. Peta Cekungan Air Tanah Kota Semarang 2004

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak, sebagai berikut :

1. Perangkat keras, yang terdiri dari :
 - a. Laptop yang memiliki spesifikasi prosesor AMD-A8, RAM 4 GB dengan sistem operasi Windows 64-bit.
 - b. Komputer yang memiliki spesifikasi RAM 8 GB dengan sistem operasi Ubuntu 16.04 LTS 64-bit.
 - c. *Hardisk* 1TB
2. Perangkat Lunak, yang terdiri dari :
 - a. Perangkat lunak SNAP Dekstop.
 - b. Perangkat lunak ArcMap 10.3.1
 - c. Perangkat lunak SNAPHU.
 - d. Perangkat lunak StaMPS
 - e. Perangkat Lunak Triangle

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil Pengolahan PS InSAR

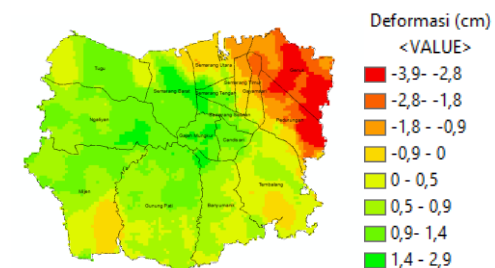


Gambar 4. Hasil Pengolahan PS InSAR

Hasil dari pengolahan Ps InSAR berupa titik distribusi penurunan muka tanah rata-rata dari tahun 2014-2017 sebesar -4,74 cm hingga 4,72 cm.

IV.2 Hasil PMT Rata-Rata Kota Semarang

Hasil pengolahan PS InSAR berupa penurunan muka tanah, disertai dengan koreksi dari penurunan muka tanah rata rata.tersebut. Hasil Penurunan muka tanah rata rata terdapat pada Gambar 4.

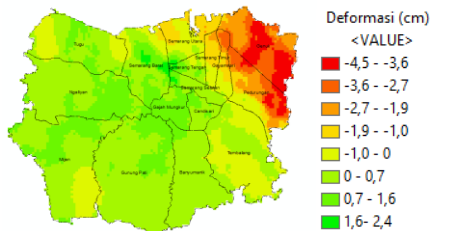


Gambar 4. Hasil Deformasi Rata-Rata Kota Semarang

Adapun hasil penurunan muka tanah rata-rata di Kota Semarang ditunjukkan pada Gambar 4. Warna hijau merepresentasikan bahwa adanya kenaikan tanah rata-rata hingga 2,9 cm dan warna merah merepresentasikan adanya penurunan muka tanah hingga -3,9 cm.

IV.3 Hasil PMT Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi Orbital

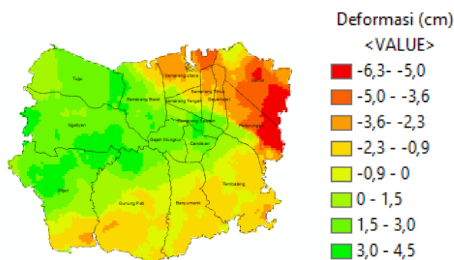
Pada pengoreksian orbital didapatkan informasi besar penurunan muka tanah rata-rata di Kota Semarang maksimum -4,5 cm dan terjadi kenaikan muka tanah maksimum sebesar 2,4 cm. Pada data pengoreksian hasil pengolahan penurunan muka tanah rata rata Kota Semarang yang terakhir adalah penurunan muka tanah yang telah dikoreksi oleh kesalahan atmosfer. Adapun hasil pengolahan penurunan muka tanah terkoreksi atmosfer terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Deformasi Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi Orbital

IV.4 Hasil PMT Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi Atmosfer

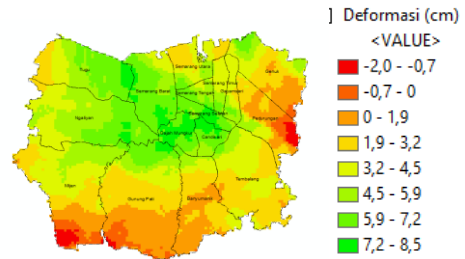
Pengolahan penurunan muka tanah yang terkoreksi kesalahan atmosfer, terdapat penurunan muka tanah maksimum sebesar 6,3 cm dan kenaikan muka tanah sebesar 2,6 cm. Adapun hasil tersebut terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Deformasi Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi Atmosfer

IV.5 Hasil PMT Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi DEM

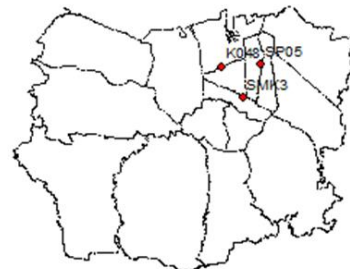
Hasil dari pengoreksian DEM pada PS InSAR dicapai nilai maksimum penurunan muka tanah sebesar 2 cm dan kenaikan muka tanah sebesar 8,5 cm. Adapun hasil tersebut terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Deformasi Rata-Rata Kota Semarang Terkoreksi DEM

IV.6 Hasil Verifikasi Pengamatan GPS dengan Data PS InSAR

Untuk memverifikasi hasil pengolahan PS InSAR digunakan data sekunder penurunan muka tanah rata-rata tiap tahun dengan metode GPS dari penelitian Prasetya dkk. (2017) pada tahun 2016. Pada penelitian tersebut mengolah data hasil pengukuran hingga didapatkan data tinggi pada titik pengamatan di tahun 2016 dengan menggunakan *software* GAMIT 10.6. Data ketinggian di tahun 2016 digabungkan dengan data pengukuran penelitian sebelumnya di tahun 2013 dan 2015 sehingga didapatkan laju penurunan muka tanah dari seluruh data. Dari banyak titik yang ada, untuk membuktikan bahwa penelitian dengan menggunakan metode PS InSAR dalam mendeteksi laju deformasi rata-rata digunakan sejumlah 3 titik pengamatan yang terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Persebaran Titik Pengamatan GPS

Data perhitungan laju penurunan tanah berdasarkan hasil penelitian Prasetya, dkk. (2017) dari ketiga titik yang digunakan untuk verifikasi terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Laju Penurunan Tanah 2013-2016 (Prasetya, dkk., 2017)

Titik GPS	Ketinggian (m)			Laju PMT (m)
	2013	2015	2016	
SP05	30.3983	30.3529	30.3396	-0.0207
K371	28.8561	28.8395	28.7503	-0.0339
SMK3	29.8661	29.8213	29.7969	-0.024

Berdasarkan data hasil olahan pengamatan GPS yang dikurangkan dengan hasil pengolahan PS InSAR maka

didapatkan selisih data sebagai verifikasi penelitian yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Verifikasi Selisih Data Pengamatan GPS dan Data PS InSAR

Titik GPS	Selisih Pengamatan Titik GPS Dengan Titik PS InSAR (cm)			
	PMT Rata-Rata	Terkoreksi DEM	Terkoreksi Orbital	Terkoreksi Atmosfer
SMK3	2,8	10,22	5,2	2,3
K371	6	10	5,1	5,5
SP05	0,6	5,8	-0,4	0
RMSE	±3,8	±8,8	±3,4	±4,2

IV.7 Hasil Perubahan Kapasitas Akuifer Dalam

Pengamatan perubahan kapasitas akuifer dalam didapatkan dari data hasil olahan MAT berdasarkan 6 titik sumur pantau yang ada di Kota Semarang. Hasil pengamatan tersebut terdapat pada Tabel IV.1.

Tabel 4. Hasil Rata-Rata MAT Kota Semarang

No	Nama Sumur Pantau	Rata-Rata Pada Tahun (m)			
		2014	2015	2016	2017
1	Esdm Jawa Tengah	-13,2427	-13,2242	-13,2251	No Data
2	Undip S2 Semarang	-5,2531	-5,14848	-1,63628	No Data
3	WJ Kusuma	No Data	-4,92343	-3,86047	-6,77437
4	Puri Anjasmoro	-25,9498	-25,6057	-25,7596	No Data
5	Smkn 10 Kota Semarang	-5,2531	-5,14848	-1,63628	No Data
6	Kawasan Candi	No Data	-36,0413	-35,7222	-36,0046

Berdasarkan pengolahan data sumur pantau pada akuifer dalam didapatkan hasil yang tidak stagnan pada perubahan MAT akuifer dalam dari ke enam titik sumur pantau.

IV.8 Hasil Perubahan Kapasitas Akuifer Dangkal

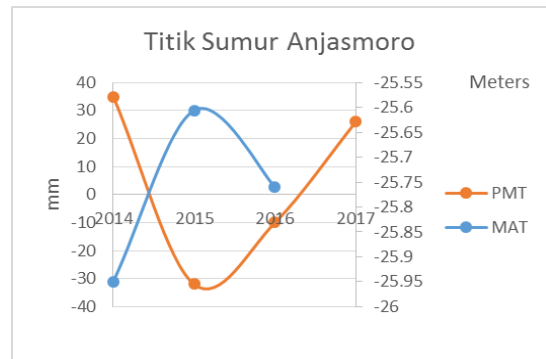
Penurunan muka air tanah pada akuifer dangkal di Kota Semarang terjadi hanpir di seluruh wilayah penelitian. Terdapat daerah tambak yang ada di sebagian Semarang bagian utara, disertai penurunan muka air tanah dengan angka terbesar mencapai lebih dari 80% dan terendah < dari 40%.

Tabel 5. Luas Wilayah Penurunan MAT Dangkal

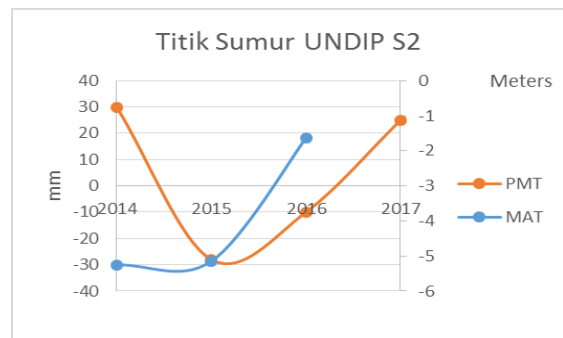
Estimasi Besar Penurunan MAT	Luas Wilayah Penurunan (Ha)
Penurunan MAT < 40%	24681,717
Penurunan MAT 40-60%	3697,172
Penurunan MAT 60-80%	413,001
Penurunan MAT > 80%	7842,576

IV.9 Hasil Korelasi

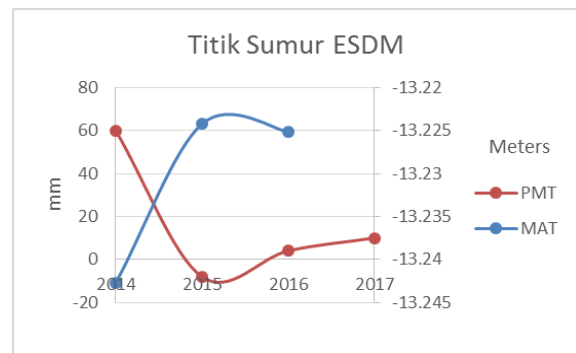
Hasil korelasi pada penelitian ini mengkaji dari dua jenis akuifer terhadap PMT di Kota Semarang yaitu, akuifer dalam dan akuifer dangkal. Hasil korelasi pada akuifer dalam ditemukan bahwa akuifer dalam tidak memiliki korelasi terhadap PMT ditunjukkan dari tidak liniernya grafik penurunan muka air tanah pada akuifer dalam dan grafik PMT rata-rata di Kota Semarang di 6 titik sumur pantau pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 13.



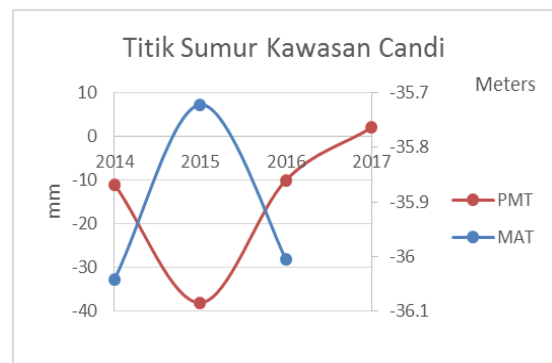
Gambar 9. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur Anjasmoro



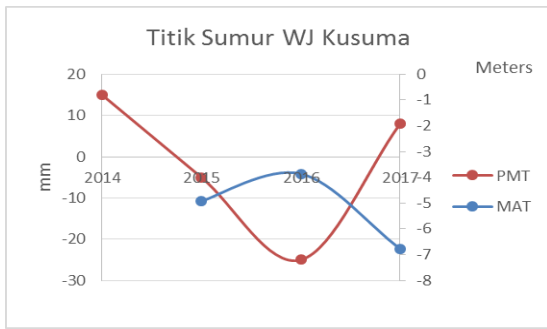
Gambar 10. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur UNDIP S2



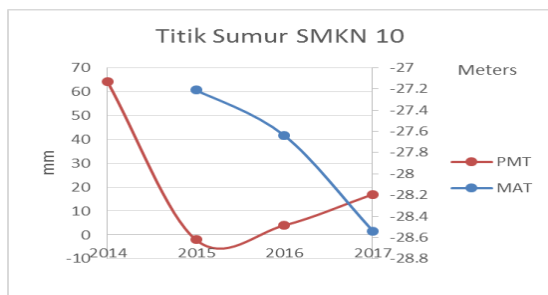
Gambar 11. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur ESDM



Gambar 12. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur Kawasan Candi

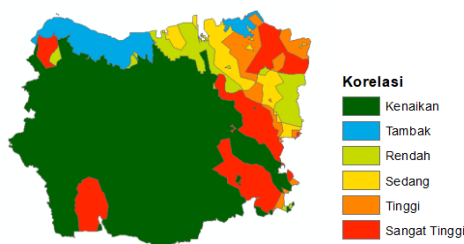


Gambar 13. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur WJ Kusuma

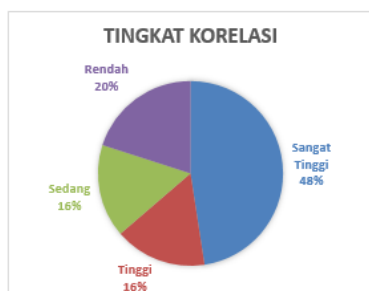


Gambar 14. Grafik Korelasi Pada Titik Sumur

Hasil korelasi pada akuifer dangkal memiliki tingkatan korelasi yang sangat tinggi. Proses korelasi menggunakan korelasi spasial tumpang susun diacu pada matriks korelasi kerentanan dari BNPB yang dimodifikasi berdasarkan nilai interval data, didapatkan hasil bahwa akuifer dangkal memiliki korelasi yang sangat tinggi terhadap PMT di Kota Semarang. Hasil dari korelasi kapasitas akuifer dangkal terhadap PMT terdapat pada Gambar



Gambar 9. Hasil Korelasi Kapasitas Akuifer Dalam Terhadap PMT



Gambar 10. Presentase Tingkat Korelasi

Tingkat korelasi yang sangat tinggi antara perubahan akuifer dangkal terhadap MAT ditunjukkan oleh Gambar 10. dengan presentase 47,58%. Tingkat korelasi tinggi sebesar 16,09%, tingkat korelasi sedang sebesar 16,29 % dan rendah sebesar 20,02 %. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan perubahan MAT akuifer dangkal dengan rentang waktu yang lama memiliki korelasi yang sangat tinggi terhadap PMT di Kota Semarang.

Tabel 6. Tingkat Korelasi Di Wilayah Kecamatan

NO	Tingkat Korelasi	Kecamatan
1	Rendah	Tugu, Semarang Barat, Semarang Timur, Gayamsari, Pedurungan
2	Sedang	Gayamsari, Genuk
3	Tinggi	Pedurungan, Genuk, Gayamsari
4	Sangat Tinggi	Tembalang, Mijen, Pedurungan, Genuk,

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil pengolahan PS InSAR terdapat 5 Kecamatan yang terjadi penurunan muka tanah yaitu Genuk, Semarang Utara, Semarang Timur, Pedurungan dan Gayamsari dengan tingkat penurunan muka tanah rata-rata per tahun sebesar $1 \pm 3,4$ cm hingga $4,5 \pm 3,4$ cm sedangkan pada Kecamatan Tembalang dan Mijen juga terjadi penurunan muka tanah pada sebagian wilayahnya dengan tingkat penurunan muka tanah rata-rata sebesar $0 \pm 3,4$ cm hingga $1 \pm 3,4$ cm.
- Berdasarkan dari hasil verifikasi pengamatan data penurunan muka tanah metode GPS, terdapat selisih antara data tersebut dan data *point* PS InSAR penurunan muka tanah rata-rata yang terkoreksi memiliki selisih sebesar -0,4 hingga 6 cm
- Hasil korelasi kapasitas akuifer dangkal terhadap penurunan muka tanah rata-rata per tahun di Kota Semarang memiliki tingkat korelasi yang sangat tinggi, yaitu presentase 47,58%. Hasil korelasi tinggi sebesar 16,09%, tingkat korelasi sedang sebesar 16,29 % dan rendah sebesar 20,02%. Sedangkan tingkat korelasi akuifer dalam terhadap penurunan muka tanah rata-rata per tahun didapatkan kesimpulan bahwa perubahan kapasitas akuifer dalam tidak berpengaruh pada penurunan muka tanah berdasarkan dari MAT akuifer dalam sumur pantau Kota Semarang.

V.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dari awal hingga akhir, berikut saran-saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian selanjutnya :

- Sebaiknya menggunakan citra SAR yang memiliki daerah *swath* yang sama sehingga tidak terjadi kekosongan titik PS InSAR.

2. Sebaiknya menggunakan data citra SAR yang disesuaikan dengan kemampuan dari komputer pengolahan data.
3. Sebaiknya menggunakan citra SAR Sentinel 1-A yang di unduh dari *link* yang tertera pada laporan penelitian ini, karena pada beberapa web telah dilakukan percobaan dan mengalami gangguan pengolahan di *step software* StaMPS.
4. Harapannya data pengamatan sumur pantau akan memiliki waktu pengamatan yang lama sehingga mampu dijadikan sebagai acuan data perubahan kapasitas akuifer dalam.
5. Harapannya data pengamatan sumur dangkal akan diperbarui, agar dapat menjadi acuan banyaknya jumlah air yang tereksplotasi dari pemakaian sumur-sumur warga sehingga dapat menjadi referensi penelitian yang lebih baik.

GRACE: A Case Study in Beijing. NCBI Library.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi, 2007. *Kumpulan Panduan Teknis Pengelolaan Airtanah*, Bandung
- Bappeda Kota Semarang, 2010. Buku Kependudukan Kota Semarang 2009. (Online). (<http://bappeda.semarangkota.go.id/v2/?p=190>, diakses pada tanggal 28 Maret 2018)
- Bisri, M. 2012. *Air Tanah*. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Herlambang, A., 1996, *Kualitas Airtanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Tesis: Institut Pertanian Bogor.
- Prasetya, A. B., Yuwono, B. D., Awaluddin, M. 2017. *Pemantauan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2016 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.6*. Jurnal Geodesi UNDIP.
- Prasetyo, Y, 2014. *Pemanfaatan Teknologi Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) Dalam Studi Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence)*. Jurnal Universitas Diponegoro.
- Ramadhanis, Z. 2017. *Analisis Korelasi Spasial Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Banjir Di Jakarta Utara*. Jurnal Universitas Diponegoro.
- Seyfallah, B. 2013. *Time series analysis of SAR images using persistent scatterer (PS), small baseline (SB) and merged approaches in regions with small surface deformation*. *Time series analysis of SAR images using persistent scatterer (PS), small baseline (SB) and merged approaches in regions with small surface deformation*. Earth Sciences.Université de Strasbourg.
- Sosrodarsono S. dan Takeda K., 1983. *Hidrologi untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Todd, K. 1955. *Groundwater Flow in Relation to a Flooding Stream*. Am. Soc. Civil Eng. Proc., 81 Separate No. 628, 1-20.
- Zhou, Lv., Ghou, J., Hu, J. 2016. *Surface Subsidence Analysis by Multi-Temporal InSAR and*