

ANALISIS DAMPAK PENURUNAN MUKA TANAH TERHADAP TINGKAT EKONOMI MENGGUNAKAN KOMBINASI METODE DINSAR DAN SIG (STUDI KASUS : KOTA SEMARANG)

Tengku Oki Al Akbar^{*)}, Yudo Prasetyo, Arwan Putra Wijaya

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp. (024) 76480785, 76480788
email : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Kota Semarang merupakan ibukota provinsi Jawa Tengah yang secara geografis terletak pada koordinat $110^{\circ}16'20''$ - $110^{\circ}30'29''$ BT dan $60^{\circ}55'34''$ - $70^{\circ}7'04''$ LS dengan luas wilayah sekitar $391,2 \text{ km}^2$. Kota Semarang merupakan salah satu kota pesisir yang secara umum terbentuk dari endapan aluvial. Adapun karakteristik dari endapan aluvial ini adalah tanahnya masih mengalami proses konsolidasi. Proses konsolidasi ini mengakibatkan terjadinya penurunan muka tanah pada daerah tersebut. Selain itu, pengambilan air tanah dan pengaruh beban permukaan juga berkontribusi dalam terjadinya penurunan muka tanah di Semarang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penurunan muka tanah di Kota Semarang dengan metode DInSAR. DInSAR adalah metode pencitraan radar ke samping yang memanfaatkan informasi fasa, amplitudo, dan panjang gelombang pada pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi. Data yang digunakan adalah citra satelit ALOS PALSAR level 1.0 dengan akuisisi data Juni 2007 (20070608), Juli 2008 (20080726), dan September 2008 (20080910). Metode DInSAR yang digunakan adalah *two-pass interferometry* dengan *Shuttle Radar Topography (SRTM)* sebagai *Digital Elevation Model (DEM)* referensi untuk topografi. Proses DInSAR ini diproses dengan menggunakan *software* SARscape dan menggunakan kombinasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis kerugian ekonomi.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan terjadi penurunan muka tanah di kota Semarang kecepatan penurunan muka tanah rata-rata tertinggi dari pasangan citra 20070608-20080910 adalah sebesar $9,059 \pm 1,89$ cm/tahun dan 20080726-20080910 adalah sebesar $1,979 \pm 1,24$ cm/tahun. Dan luas wilayah yang terkena dampak penurunan muka tanah paling tinggi adalah seluas $69,58 \text{ km}^2$ serta menunjukkan hasil kerugian ekonomi terhadap dampak penurunan muka dari sektor infrastruktur jalan sebesar Rp. 70,983 Miliar, fasilitas umum sebesar Rp. 16,472 Miliar, pertanian sebesar Rp. 1,563 Miliar, dan pemukiman sebesar Rp 57,238 Miliar.

Kata Kunci : ALOS PALSAR, DInSAR, Penurunan Muka Tanah, SARscape, SIG

ABSTRACT

Semarang city is the capital city of Central Java Province which is geographically located in $110^{\circ}16'20''$ - $110^{\circ}30'29''$ E and $60^{\circ}55'34''$ - $70^{\circ}7'04''$ N, and it is about $391,2 \text{ km}^2$. Semarang is a city in a coastal area which was formed alluvial sediment. It has its characteristic process where the land is still through the consolidation process. It causes a land subsidence in those area. Moreover, explorations of land water and the burden of the surface of the land also contribute the land subsidence in Semarang.

The purpose of this research is to find out the land subsidence in Semarang by using DInSAR method. DInSAR is a side scan radar technology which uses a phase information, amplitudo, and the wave length to get topography and deformation data. The data which was used in the process is ALOS PALSAR level 1.0 images with the acquisition data in June 2007 (20070608), July 2008 (20080726), and September 2008 (20080910). DInSAR method which was used to process the data was two-pass interferometry with Shuttle Radar Topography (SRTM) as Digital Elevation Model (DEM) to give the topography reference. The DInSAR Process was processed with SARscape software and use a combination of Geographic Information Systems (GIS) for the analysis of economic losses.

The result of this research showed the land subsidence in Semarang has got the maximum velocity rate is about 9.059 ± 1.89 cm/year in 20070608-20080910 and it's about 1.979 ± 1.24 cm/year in 20080726-20080910. The area which got the worst impact of the land subsidence is around 69.58 km^2 and showed the results in economic losses to the effects of subsidence from the infrastucture sector amounted to idr. 70.983 billion, public facilities idr.16.472 billion, agriculture idr. 1.563 billion and idr. 57.238 billion for settlement.

Keywords: ALOS PALSAR, DInSAR, Land Subsidence, SARscape, GIS

^{*)} Penulis, Penanggungjawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Penurunan muka tanah (*Land Subsidence*) merupakan permasalahan yang umum terjadi di banyak kota-kota besar di dunia. Fenomena ini sedang dikaji di beberapa negara, termasuk Indonesia. Penurunan tanah merupakan hal yang serius terutama apabila penurunan tanah terjadi di daerah pesisir pantai. Kondisi tersebut karena daerah pesisir sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, baik yang berasal dari daratan maupun dari lautan. Kondisi geologi (alamiah) serta aktifitas manusia (non-alamiah) ditengarai menjadi faktor penyebab penurunan muka tanah.

Kota Semarang yang merupakan Ibukota Provinsi Jawa Tengah memiliki karakteristik geografis yang unik dimana wilayah Semarang sendiri terbagi menjadi dua yaitu dataran rendah di bagian utara dan dataran tinggi di bagian selatan. Wilayah Semarang bagian utara merupakan dataran rendah yang berada di pesisir pantai utara Pulau Jawa. Dilihat dari posisi geografisnya yang dekat dengan pesisir pantai, kota ini mengalami perkembangan dan pertumbuhan kota yang cukup pesat. Ditunjukkan dengan adanya peningkatan pembangunan dan kegiatan industri dan fasilitas umum perkotaan seperti perkantoran, perdagangan, jasa, pendidikan, kesehatan serta sarana transportasi (bandara Ahmad Yani, stasiun kereta api, pelabuhan dan terminal) berada di wilayah tersebut. Ini menimbulkan masalah baru yaitu penurunan muka tanah.

Besar penurunan muka tanah suatu wilayah dapat diketahui melalui pengamatan, seperti metode hidrogeologis melalui pengamatan level muka air tanah serta pengamatan dengan ekstensometer dan piezometer yang diinversikan kedalam besaran penurunan muka tanah (Fahrudin dkk, 2009), metode geoteknik (Tobing dkk, 2000). Tidak hanya itu, terdapat juga metode-metode geodetik, seperti survei sipat datar (*leveling*), survei gaya berat, survei GPS (*Global Positioning System*) dan DInSAR (*Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar*). DInSAR adalah teknologi geodesi yang dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir untuk pengamatan deformasi dengan akurasi hingga sentimeter (Abidin dkk, 2001). Dengan teknik ini diharapkan mampu mengetahui besar nilai penurunan muka tanah di Kota Semarang.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa kecepatan penurunan muka tanah per tahun di Kota Semarang dengan menggunakan metode DInSAR ?

2. Berapa luasan cakupan wilayah yang terkena dampak penurunan tanah di Kota Semarang berdasarkan hasil analisis metode DInSAR ?
3. Bagaimana hasil pengolahan menggunakan metode DInSAR jika divalidasi dengan metode GPS (Maiyudi, R., 2012) ?
4. Berapa besar kerugian keekonomian yang ditimbulkan oleh penurunan muka tanah kota Semarang dengan memanfaatkan teknologi Sistem Informasi Geografis ?

I.3. Batasan Masalah

Adapun pembatasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kajian pengamatan tentang penurunan muka tanah di Kota Semarang pada kurun waktu tahun 2007-2008.
2. Menggunakan citra satelit ALOS PALSAR level 1.0 tahun 2007-2008 dengan tipe polarisasi *Fine Beam Dual* (FBD).
3. Penelitian dibatasi hanya pada monitoring pergerakan vertikal dengan mengabaikan pergerakan horisontal.
4. Pembobotan dan nilai unit satuan harga setiap sektor dalam menentukan kerugian ekonomi (Gumilar, I., 2013).
5. Kawasan rawan penurunan muka tanah didasarkan atas kombinasi metode DInSAR dan metode pembobotan SIG (tata guna lahan, kepadatan penduduk, jenis tanah).

I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui berapa besarnya kecepatan penurunan tanah di Kota Semarang dari data citra satelit ALOS PALSAR dengan teknik DInSAR.
2. Mengetahui luasan wilayah yang terkena dampak penurunan tanah di Kota Semarang dari data citra satelit ALOS PALSAR dengan teknik DInSAR.
3. Mengetahui perbandingan hasil DInSAR dan metode GPS.
4. Mengetahui estimasi kerugian ekonomi yang ditimbulkan akibat penurunan muka tanah.

Manfaat dari penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu manfaat dari segi keilmuan dan manfaat dari segi kerekayasaan.

Manfaat dari segi keilmuan :

1. Metode DInSAR dapat digunakan untuk mengetahui perubahan penurunan muka tanah disuatu daerah.
2. DInSAR dapat dijadikan alternatif metode untuk mengetahui penurunan muka tanah selain metode GPS, *levelling*, dan lainnya.

Manfaat dari segi Kerekayasaan :

1. Informasi penurunan muka tanah yang didapat dari pengolahan DinSAR dapat digunakan untuk berbagai keperluan, misalnya pengendalian dan penanggulangan banjir, perencanaan tata guna ruang, desain infrastruktur dan konstruksi, konserfasi lingkungan, pengaturan pengambilan air tanah secara berlebihan.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Konsep Dasar Penurunan Muka Tanah

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 (Galloway, dkk, 1999) sehingga dampaknya dapat merusak infrastruktur perkotaan yang kemudian dapat saja menjadi gangguan terhadap stabilitas perekonomian dan kehidupan sosial di wilayah tersebut. Adapun beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah (Prasetyo, Y., 2014), yaitu :

1. Pengambilan air tanah yang berlebihan.
2. Penurunan karena beban bangunan.
3. Konsolidasi alamiah lapisan tanah.
4. Gaya-gaya tektonik.
5. Ekstraksi gas dan minyak bumi.
6. Penambangan bawah tanah.
7. Ekstraksi lumpur.
8. Patahan kerak bumi.
9. Kontraksi panas bumi di lapisan litosfer.

II.2. Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) adalah metode pencitraan radar ke samping dengan memanfaatkan perbedaan fasa dua atau lebih citra SAR dengan akuisisi yang berbeda dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi. 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 fasa yang dimiliki oleh interferogram dari hasil pengamatan 2 SAR pada waktu yang berbeda, sebenarnya memiliki unsur sebagai berikut :

$$\varphi = \varphi_{topografi} + \varphi_{deformasi} + \varphi_{atmosfer} + \varphi_{noise} \dots \dots \dots (2.1)$$

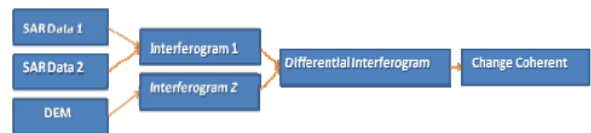
Sehingga untuk mendapatkan sinyal deformasi harus dilakukan dengan metode *differential interferometri* lalu menghilangkan pengaruh *noise*, dan atmosfer. Pengamatan dilakukan dengan metode *repeat pass interferometry*. Yaitu satelit InSAR

melakukan pencitraan kembali pada daerah yang sama dengan waktu tersendiri.

Beberapa metode yang digunakan dalam membuat *differential interferogram* (Hanssen, 2000), antara lain :

1. Metode *two-pass interferometry*

Metode ini menggunakan model elevasi (DEM) yang dikonversi kedalam koordinat radar, diskalakan menggunakan *baseline*, dan disubstrak dari interferogram. (Massoment dkk, 1993) dengan metode seperti ini tentu kesalahan yang dimiliki oleh DEM akan mempengaruhi hasil deformasi yang diperoleh, bergantung pada karakteristik baselinenya.



Gambar II.1. Alur pengolahan SAR metode *two-pass* (ESA, 2007)

2. Metode *three-pass interferometry*

Metode ini menggunakan pasangan topografi yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal kedua pengamatan tersebut saling berdekatan, sehingga tidak ada unsur deformasi didalam model topografi itu atau kita anggap tidak memiliki kesalahan deformasi. Kedua pasangan topografi yang masih dipengaruhi oleh deformasi diperoleh dari citra SAR 1 dan 3 dimana memiliki selisih temporal yang cukup berjauhan. Dari kedua pasangan topografi tersebut, untuk menentukan besarnya deformasi atau pasangan differensial-nya pada area paengamatan kita tinggal menselisihkan antara pasangan topografi 1 dan 3 dengan pasangan topografi 1 dan 2.



Gambar II. 2. Alur pengolahan SAR metode *three-pass* (ESA, 2007)

3. Metode *Four-pass interferometry*

Untuk metode *four-pass* ini, dimana menggunakan pasangan topografi dan pasangan deformasi hasil dari kombinasi temporal citra apapun, tetapi pada intinya untuk mendapatkan pasangan differensialnya sama dengan metode *three-pass*, kita tinggal menyelisihkan kedua pasangan interferogram tersebut, dengan metode seperti ini perbedaan *baseline* akan masuk.

II.3. Sistem Tinggi Geodesi

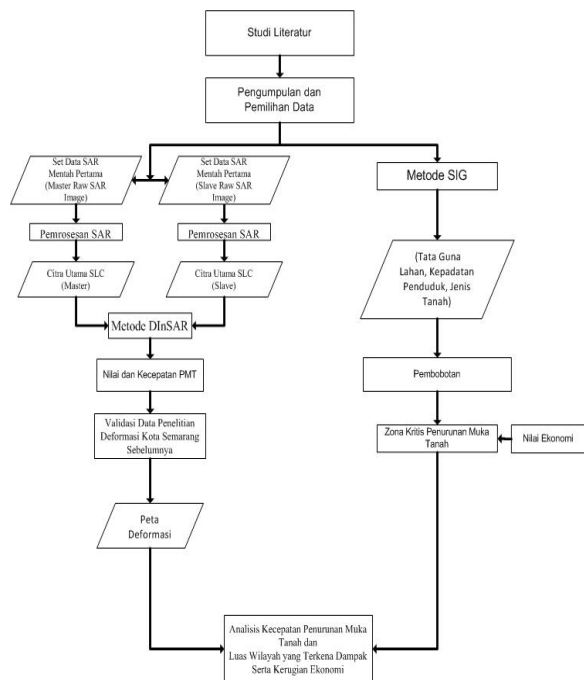
Tinggi adalah jarak vertikal atau jarak tegak lurus dari suatu bidang referensi tertentu terhadap suatu titik sepanjang garis vertikalnya. Konsep tinggi diperlukan dalam pendefinisian kerangka referensi sistem tinggi (konsep deformasi vertikal) Pada prinsipnya, pengukuran tinggi secara fisis menggunakan datum geoid sehingga memiliki arti riil dalam perhitungan tinggi (Prasetyo, Y., 2009). Untuk suatu wilayah biasa MLR ditentukan sebagai bidang referensi dan perluasannya kedaratan akan disebut dengan datum atau geoid.

II.4. Sistem Informasi Geografis

SIG merupakan suatu sistem informasi yang berbasis komputer, dirancang untuk bekerja dengan menggunakan data yang memiliki informasi spasial (bereferensi keruangan). Sistem ini menangkap, mengecek, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data yang secara spasial mereferensikan kepada kondisi bumi. Teknologi SIG mengintegrasikan operasi operasi umum *database*, seperti *query* dan analisis statistik, dengan kemampuan visualisasi dan analisis yang unik yang dimiliki oleh pemetaan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dengan sistem informasi lainnya yang membuatnya menjadi berguna berbagai kalangan untuk menjelaskan kejadian, merencanakan strategi, dan memprediksi apa yang terjadi.

III. Metodologi

III.1. Pengolahan DInSAR dan SIG



Gambar III.1. Diagram alir pengolahan DInSAR dan SIG

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. Statistik ROIs tersimpan dalam bentuk format *.sta* yang digunakan untuk membuka kembali data statistik di ENVI dan format *.txt* menunjukkan nilai penurunan muka tanah. Terdapat tiga informasi pada statistik ROIs, yaitu nilai *min/max/mean*, *standart deviation*, dan *histogram*.



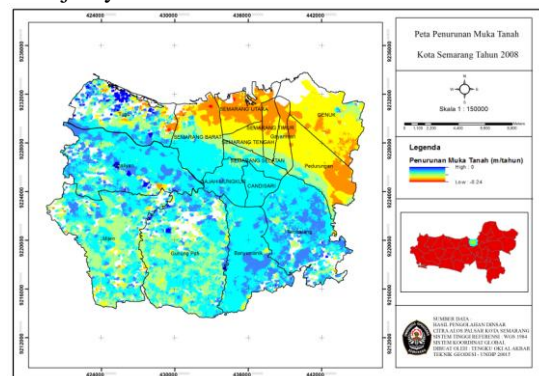
Gambar III.2. Contoh hasil pemotongan citra dan pembentukan *Regions Of Interest* (ROIs) Kecamatan Semarang Timur

Kemudian hasil dari DInSAR digunakan untuk mengetahui dampak kerugian ekonomi.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil Pengolahan DInSAR

Dari akuisisi data citra yang dimiliki dibentuk menjadi tiga pasangan citra menjadi pasangan 1, pasangan 2, dan pasangan 3. Akan tetapi pada prosesnya pasangan 1 memiliki RMS yang sangat besar sementara resolusi spasial citra ALOS PALSAR adalah 10x10m, berarti toleransi maksimal spasialnya adalah 5 meter. Sementara itu, pasangan 2 dan pasangan 3 dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya karena RMS tidak melebihi toleransi.



Gambar IV.1. Peta penurunan muka tanah kota Semarang tahun 2008

Berdasarkan hasil statistik ROIs didapatkan besaran penurunan muka tanah perkecamatan

berdasarkan nilai *minimum*, *mean*, dan *maximum*. Dari ketiga nilai tersebut, nilai *mean* digunakan untuk mewakili nilai penurunan muka tanah per kecamatan. Karena *mean* merupakan nilai rata-rata yang dihitung dari jumlah total nilai penurunan muka tanah di wilayah tertentu, sehingga mewakili wilayah tersebut. Berikut adalah tabel penurunan muka tanah per kecamatan di Kota Semarang berdasarkan nilai *mean*.

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

Kecamatan	20070608-20080910 (cm/tahun)	20080726-20080910 (cm/tahun)
Banyumanik	-3,411	-0,062
Candisari	-4,014	-0,726
Gajahmungkur	-4,523	-0,979
Gayamsari	-6,624	-1,359
Genuk	-5,164	-1,316
Gunungpati	-5,938	-0,228
Mijen	-3,808	-0,404
Ngalian	-4,031	-1,441
Pedurungan	-5,332	-0,950
Semarang Barat	-6,060	-1,748
Semarang Selatan	-2,769	-0,705
Semarang Tengah	-5,910	-1,397
Semarang Timur	-9,058	-1,979
Semarang Utara	-5,992	-1,487
Tembalang	-3,785	-0,059
Tugu	-3,691	-1,905

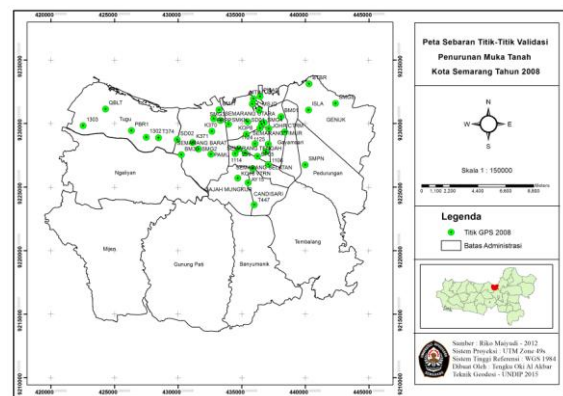
Berdasarkan Tabel 1 kecepatan penurunan tanah terbesar terjadi pada wilayah Semarang Timur. Dari pasangan citra 20070608-20080910 (pasangan 2) yakni sebesar $9,059 \pm 1,89$ cm/tahun dan pada pasangan citra 20080726-20080910 (pasangan 3) yakni sebesar $1,979 \pm 1,24$ cm/tahun. Dari analisis spasial yang telah dilakukan didapatkan luasan wilayah yang terkena dampak penurunan muka tanah yang cukup signifikan di Kota Semarang adalah seluas 69,58 km².

IV.2.Perbandingan DInSAR dan GPS

Penelitian yang dilakukan oleh Riko Maiyudi tahun 2012, pengukuran penurunan muka tanah Semarang dilakukan dengan metode survei GPS. Data pengamatan didapat dari pengukuran lapangan tahun 2008, 2009, 2010, dan 2011. Data tersebut diolah dengan menggunakan *software Bernesse 5.0*. Karena data citra satelit ALOS PALSAR yang digunakan pada penelitian ini memiliki auisisi data tahun 2007 dan 2008 maka untuk melakukan perbandingan hanya menggunakan data GPS tahun 2008 pada penelitian yang dilakukan oleh Riko Maiyudi pada tahun 2012.

Tabel IV.2. Selisih penurunan muka tanah DInSAR dan GPS (cm/tahun)

Point	Easting (m) UTM	Northing (m) UTM	Selisih DInSAR Pasangan 2 dan GPS (cm/th)	Selisih DInSAR Pasangan 3 dan GPS (cm/th)
259	434778,278	9228005,471	8,045	1,472
1106	437097,570	9226783,173	0,972	4,784
1114	434493,454	9227623,202	3,282	2,212
1124	436060,239	9228403,343	8,184	0,887
1125	437108,003	9228373,607	7,600	2,080
1303	422539,346	9229821,752	5,578	4,056
AY15	435510,747	9225343,581	5,410	0,539
BM01	438105,455	9230538,107	0,383	9,963
DST				
SMG5	442383,556	9231574,124	6,624	2,736
SMPN	440003,789	9226743,150	6,417	2,996
SP05	436251,031	9227417,917	1,993	9,204
T447	435999,070	9223598,284	4,237	1,638
VTRN	435872,156	9226444,673	0,841	4,558
Simpangan Baku			2,520	2,734



Gambar IV.2. Sebaran titik pengamatan GPS

Tabel IV.3. Perbandingan kecepatan penurunan muka tanah dengan beberapa metode

No	Nama Peneliti	Metode	Tahun	Hasil
1	Tobing dan Murdohardon	levelling	2007	1 - 17 cm/tahun
2	Hasanuddin Z. Abidin, dkk	GPS	2008	0,8 – 13,5 Tahun
3	Murdahardon, dkk	PS-InSAR	2009	0 - 8 cm/tahun
4	Riko Maiyudi	GPS	2012	0-13 cm/tahun

Tabel IV.3. Perbandingan kecepatan penurunan muka tanah dengan beberapa metode (Lanjutan)

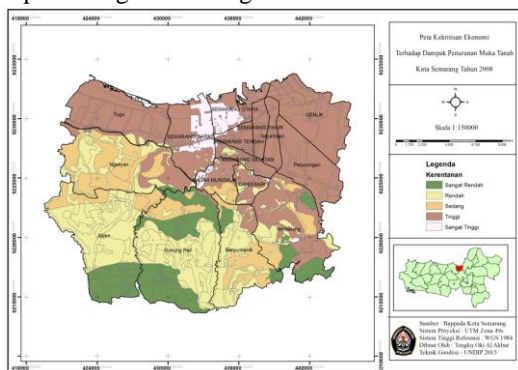
5	Bambang Darmo Yuwono	GPS dan Analisa Kondisi Muka Air Tanah	2012	6 - 12 cm/tahun
6	Tengku Oki Al Akbar	DInSAR	2015	0- 9 cm/tahun



Gambar IV.3. Dampak Penurunan Muka Tanah Kota Semarang

IV.2. Analisis Kerugian Ekonomi Berdasarkan Dampak Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah selain menyebabkan kerugian tidak langsung (banjir) juga mengakibatkan kerugian langsung seperti retakan dan perubahan desain pada bangunan. Retakan pada bangunan dan juga infrastruktur biasanya terjadi di lokasi dimana penurunan tanah di lokasi tersebut tidak sama sehingga menyebabkan tegangan pada bangunan dan menyebabkan keretakan. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari aspek tata guna lahan, kepadatan penduduk, dan jenis tanah terhadap kecepatan penurunan muka tanah terutama guna mengetahui dampak kerugian dari segi ekonomi.



Gambar IV.1. Peta kekritisan kkonomi terhadap dampak pemurunan muka tanah kota Semarang Tahun 2008

Teknologi SIG digunakan untuk proses mencari luas atau jumlah area yang terdampak akibat pemurunan muka tanah sehingga bisa diestimasi berapa berapa kerugian ekonominya. Dari hasil

analisis dengan menggunakan SIG kecamatan Semarang Utara Dan Semarang Barat masuk kedalam kategori penurunan muka tanah sangat sangat tinggi. Sehingga perhitungan kerugian difokuskan pada dua kecamatan tersebut.

a. Kerugian Ekonomi Sektor Pemukiman Akibat Penurunan Muka Tanah

Dari gambar 8 tersebut, kemudian di cocokkan dengan hasil pengolahan DInSAR guna menganalisis dampak dari segi ekonomi yang masuk dalam zona penurunan muka tanah sangat sangat tinggi. Banyaknya satuan unit rumah diasumsikan sebagai berikut. Dengan asumsi satu keluarga terdiri dari lima (5) jiwa.

$$Unit\ Rumah = \frac{Jumlah\ Penduduk\ per\ Kecamatan}{5} \dots(4.1)$$

Dan dengan biaya timbunan Rp. 1.000.000,- (dengan asumsi dimensi peninggian adalah 5x2x1 m) per rumah maka didapat kerugian akibat perubahan desain rumah. Maka didapat total kerugian sektor pemukiman sebesar Rp. 57,238 Miliar.

Tabel IV.4. Total kerugian ekonomi akibat perubahan desain bangunan yang disebabkan oleh penurunan muka tanah tahun 2008

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Unit Rumah	Kerugian (Miliar)
1	Semarang Utara	126765	25353	25,353
2	Semarang Barat	159425	31885	31,885
Total (Miliar)				57,238

b. Kerugian Ekonomi Sektor Pertanian Akibat Penurunan Muka Tanah

Inti dari perhitungan kerugian ekonomi akibat penurunan pada sektor pertanian adalah menghitung jumlah total area pertanian yang terdampak dari penurunan muka tanah. Total area pertanian didapat dari pemisahan layer total tata guna lahan dengan kecamatan. Dengan unit satuan harga kerugian sektor pertanian adalah Rp. 9,295,500,- per hektar (Gumilar, I., 2013). Maka didapat total kerugian sektor pertanian sebesar Rp. 1,563 Miliar

Tabel IV.5. Kerugian ekonomi sektor pertanian akibat penurunan muka tanah

Kecamatan	Luas area (ha)	Kerugian (Miliar)
Semarang Utara	5,447	0,051
Semarang Barat	162,691	1,512
Total (Miliar)		1,563

c. Kerugian Sektor Infrastruktur Jalan dan Fasilitas Umum Akibat Penurunan Muka Tanah

Sama halnya dengan sektor pertanian di atas, untuk mendapatkan kerugian pada infrastruktur jalan dan fasilitas umum maka perlu dihitung terlebih

dahulu panjang jalan dan luas area yang terdampak penurunan muka tanah. Dalam analisis ini hanya jalan utama kelas satu yang diambil untuk analisis kerugiannya. Dengan unit satuan harga kerugian sektor infrastruktur jalan adalah Rp. 1,480,000,- per meter (Gumilar, I., 2013).

Tabel IV. 6. Kerugian sektor infrastruktur jalan akibat penurunan muka tanah

Kecamatan					
Semarang Utara			Semarang Barat		
Nama Jalan (Jalan Utama)	Panjang Jalan (m)	Kerugian	Nama Jalan (Jalan Utama)	Panjang Jalan (m)	Kerugian
Jl. Brotojoyo Barat	1056	1563	Jl. Bojong Salaman	1054	1560
Jl. Usman Janatin	1160	1717	Jl. Dr. Soerlatmo	1092	1616
Jl. Mpu Tantular	1338	1980	Jl. Hilir Sapta Marga	1115	1650
Jl. Srikandi	1496	2214	Jl. Anjasmoro	1137	1683
Jl. Hasamudin	1948	2883	Jl. Muradi	1145	1695
Jl. Kokrosono	2675	3959	Jl. Subali Raya	1166	1726
Jl. Yos Sudarso	4385	6490	Jl. Akses Yos Sudarso	1208	1788
			Jl. Dr. Ismail	1603	2372
			Jl. Pamularsih Raya	1719	2544
			Jl. Jendral Sudirman	2106	3117
			Jl. Sapta Marga II A	2158	3194
			Jl. Madukoro	2294	3395
			Jl. Siliwangi	2437	3607
			Jl. Supratman	2473	3660
			Jl. A. Rachman Saleh	3002	4443
			Jl. Simongan	3313	4903
			Jl. Yos Sudarso	4882	7225
Total Kerugian (Milyar)		20,806			50,178
Total Keseluruhan (Milyar)					70,984

Dengan unit satuan harga kerugian sektor umum adalah sebagai berikut :

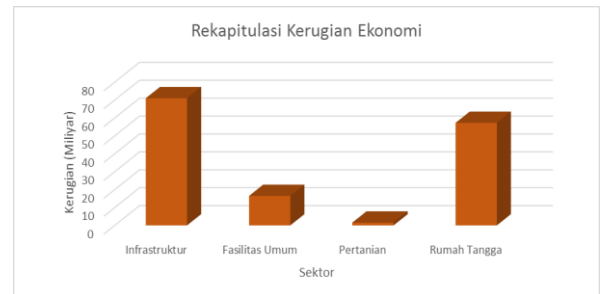
Tabel IV.7. Unit harga saruan fasilitas umum (Gumilar, I., 2013)

No.	Fasilitas	Nilai Unit Bangunan (Rupiah)	Nilai Unit Aset (Rupiah)
1	Fasilitas Kesehatan	9,125,235	63,900,000
2	Fasilitas Pendidikan	29,200,740	204,400,000
3	Fasilitas Peribadatan	73,001,800	51,100,000

Tabel IV.8. Kerugian pada fasilitas umum akibat penurunan muka tanah

Fasilitas	Kecamatan					
	Semarang Utara			Semarang Barat		
	Luas Area (ha)	Kerugian Bangunan (Milyar)	Kerugian Aset (Milyar)	Luas Area (ha)	Kerugian Bangunan (Milyar)	Kerugian Aset (Milyar)
Kesehatan	0,474	0,043	0,030	1,555	0,142	0,099
Pendidik	1,369	0,138	0,097	23,902	0,454	0,318
Peribadatan	25,943	1,894	13,257	0	0	0
Total	27,786	2,075	13,384	25,457	0,596	0,417

Berikut rekapitulasi kerugian ekonomi akibat penurunan muka tanah kota Semarang :



Gambar IV.2. Rekapitulasi kerugian akibat PMT per sektor pada zona kekritisasi sangat tinggi.

Dari rekapitulasi kerugian akibat penurunan muka tana per sektor pada zona sangat sangat tinggi didapat kerugian total sebesar Rp. 146,256 Milyar. Dan sektor infrastruktur mengalami dampak kerugian paling besar.

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Kecepatan rata-rata tertinggi penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode waktu 2007-2008 yang diperoleh dari pasangan citra 20070608-20080910 adalah sebesar $9,059 \pm 1,89$ cm/tahun dan 20080726-20080910 adalah sebesar $1,979 \pm 1,24$ cm/tahun. Kecamatan yang mengalami penurunan muka tanah terbesar terjadi di kecamatan Semarang Timur.
2. Luas wilayah yang terkena dampak penurunan muka tanah di kota Semarang adalah seluas 69,58 km² meliputi kecamatan Semarang Barat, Semarang Utara, Semarang Timur, Semarang Tengah, Gayamsari, Genuk, Pedurungan.
3. Simpangan baku perbandingan hasil pengolahan dengan metode DInSAR dan GPS adalah sebesar 2,52cm untuk pasangan citra 20070608-20080910 dan 2,74cm untuk pasangn 20080726-20080910.
4. Analisis kerugian ekonomi yang ditimbulkan dari penurunan muka tanah dari sektor industri sebesar Rp. 70,983 Milyar, fasilitas umum sebesar Rp. 16,472 Milyar, pertanian sebesar Rp. 1,563 Milyar, dan pemukiman sebesar Rp 57,238 Milyar.

V.2. Saran

1. Diharapkan adanya penelitian metode DInSAR yang menggunakan perangkat lunak lainnya.
2. Hasil pengolahan tidak hanya sampai mendapatkan hasil penurunan muka tanah saja, penelitian dapat diperluas lagi dengan menganalisis faktor penyebab penurunan muka tanah, dampak penurunan muka tanah dari segi ekonomi dengan menggunakan data yang lebih terperinci.
3. Diharapkan dapat melakukan kajian DInSAR dengan menggunakan data satelit lain guna membandingkan tingkat akurasi yang dimiliki satelit ALOS PALSAR.
4. Pada penelitian selanjutnya, penggunaan DEM eksternal disarankan menggunakan ekstraksi citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi (>30m) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- ESRI. (2002). *Data & Maps An ESRI White Paper*. ESRI. New York
- European Space Agency. (2007). *Part A Interferometric SAR Image Processing and Interpretation (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands.
- European Space Agency. (2007). *Part B InSAR Processing: A Partical Approach (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands.
- European Space Agency. (2007). *Part C InSAR Processing: A Mathematicall Approach (Tutorial)*. ESA Publications. ESTEC. Netherlands.
- Galloway D., Jones D.R., dan Ingebristen, S.E. (1999) : *Land Subsidence in The United States*. US Geological Survey, New Yorl, 1182, 1-25
- Gumilar, I. (2013). *Pemetaan Karakteristik Penurunan Muka Tanah (Land Subsidence) Berdasarkan Integrasi Metode GPS Dan InSAR Serta Estimasi Kerugian Keekonomian Akibat Dampak Penurunan Muka Tanah (Wilayah Studi: Cekungan Bandung)*. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB
- Hansen, R.F. (2001). *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, Delft University of Thechnology
- Ismullah, I.H. (2002). *Model Tinggi Permmukaan Dijital Hasil Pengolahan Radar Interferometri Satelit Untuk Wilayah Berawan (Studi Kasus: Gunung Cikurai – Jawa Barat)*. Bandung: Program Doktor Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB
- Maiyudi, R. (2012). *Studi Penyebab dan Identifikasi Dampak Penurunan Tanah Di Wilayah Semarang*. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Prasetyo, Y. (2014). *Analisis Optimasi dan Estimasi Penentuan Penurunan Muka Tanah Menggunakan Teknik Light Permanet Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (LPS-InSAR) (Studi Kasus: Cekungan Bandung)*. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB
- Tobing T, MHL, Syarief E.A., Murdohardono D (2000). *Penyelidikan Geologi Teknik Amblesan Tanah Daerah Semarang dan Sekitarnya*, Propinsi Jawa Tengah, No. : 19/LAP-
- Massonnet, D., Feigl, K., Rossi, M. and Adragna, F., (1994). *Radar Interferometric Mapping of Deformation in the Year After the Landers Earthquake*. Nature, 369: 227-230.
- Pustaka dari Situs Internet:
Kuswondo. (2012). *Sistem Tinggi* <http://geoexpose.blogspot.co.id/2012/03/sistem-tinggi.html>. Diakses pada tanggal 17 Mei 2015.
- Prasetyo, Y. (2009). *Konsep Sistem Tinggi*. <https://yudopotter.wordpress.com/2009/02/17/konsep-sistem-tinggi-geodesi/>. Diakses pada tanggal 17 Mei 2015.