

PEMANTAUAN PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG TAHUN 2016 MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GAMIT 10.6

Alfian Budi Prasetya, Bambang Darmo Yuwono, Moehammad Awaluddin^{*)}

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

ABSTRAK

Selama kurun waktu 30 tahun terakhir ini, Kota Semarang sering mengalami banjir rob. Salah satu penyebab terjadinya banjir rob ini adalah penurunan muka tanah. Penurunan muka tanah mengakibatkan bentang hidrologi atau muka air laut lebih tinggi dari daratan disekitarnya. Di Indonesia sendiri telah dilakukan berbagai penelitian mengenai fenomena ini seperti di Jakarta, Bandung dan Surabaya. Pengambilan air tanah yang berlebihan, bukaan bawah tanah akibat aktivitas tambang, aktivitas tektonik, jenis tanah, serta beban berat diatas tanah yang berlebihan (overburden) merupakan penyebab utama terjadinya penurunan muka tanah.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran GPS metode statik. Terdapat 7 titik pengamatan yang tersebar di wilayah Kota Semarang. Pengamatan GPS dilakukan dengan durasi selama 6-7 jam. Data yang diperoleh kemudian diolah secara radial menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6. Berdasarkan pengolahan perangkat lunak GAMIT didapatkan nilai koordinat dan standar deviasi dari setiap titik pengamatan. Untuk mendapatkan nilai penurunan muka tanah Kota Semarang yang digunakan adalah nilai tinggi. Nilai tinggi GPS yang dihasilkan dari pengolahan GAMIT kemudian dibandingkan dengan nilai tinggi ellipsoid pada tahun sebelumnya di titik yang sama untuk mendapatkan nilai penurunan muka tanahnya.

Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai penurunan muka tanah Kota Semarang pada tahun 2016 dengan rentang penurunan sebesar 1,33 - 34,9 cm. Untuk besar laju penurunan tanah dari tahun 2013-2016 didapatkan nilai sebesar 2,07 – 17,04 cm/tahun. Laju penurunan paling tinggi terdapat di daerah Semarang Utara dan Semarang Timur. Besar kerugian ekonomi yang ditimbulkan dari bencana banjir rob di kota Semarang pada sektor pemukiman sebesar Rp. 545,985 miliar dan sektor infrastruktur jalan sebesar Rp. 70,466 miliar.

Kata Kunci : GPS, GAMIT, GPS, Penurunan Muka Tanah

ABSTRACT

In the last 30 years, Semarang city experienced tidal flood. One of the major causes of this tidal flood disaster is land subsidence. Land subsidence inflict hydrological landscape or sea level is higher then the surrounding land. In Indonesia, research about this phenomenon had been conducted in various city, such as Jakarta, Bandung and Surabaya. The excessive extraction of ground water, mining activity, tectonic activity, soil characteristic and also overburden on the land surface are the major causes of land subsidence.

In this research data collected using GPS static measurement method. There are 7 observation points which are spread throughtout Semarang city. GPS observation carried out with a duration of 6-7 hours. The GPS data then processed using radial method by GAMIT 10.6 software. The data obtained from GAMIT processing are coordinate value and standard deviation from each observation point. The value of land subsidence obtained by comparing the height value on previous measurement and height value on present measurement.

The result of this research is value of land subsidence in Semarang city on 2016 with subsidence value range from 1.33 cm to 34.9 cm. This research also obtained the velocity rate of land subsidence from 2013-2016 with variation range from 2.07 cm/year to 17.04 cm/year. The highest velocity rate of land subsidence was found in the North and East Semarang. The value in economic losses to the effect of tidal flood from settlement sector amounted to idr. 545.985 billion and from infrastructure sector idr. 70.466 billion.

Keywords: GAMIT, GPS, Land Subsidence

^{*)} Penulis, PenanggungJawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Semarang merupakan kota yang terletak di pesisir utara Jawa Tengah yang kurang lebih 30 tahun terakhir ini telah mengalami banjir rob. Salah satu penyebab terjadinya banjir rob ini adalah penurunan muka tanah atau *land subsidence* yang mengakibatkan bentang hidrologi atau muka air laut lebih tinggi daripada darat disekitarnya.

Land subsidence atau disebut juga penurunan permukaan tanah pada dasarnya merupakan perubahan (deformasi) permukaan tanah secara vertikal ke bawah dari suatu bidang referensi tinggi (Handoko dkk., 2011). Fenomena ini telah menjadi masalah bagi kota-kota besar di Indonesia maupun di negara lain. Di Indonesia sendiri telah dilakukan berbagai penelitian mengenai fenomena ini yang terjadi di beberapa kota antara lain : Bandung, Jakarta, Surabaya dan Semarang. Penurunan muka tanah ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pengambilan air tanah yang berlebihan sehingga tekanan air tanah untuk menopang tanah di atasnya berkurang, bukaan bawah tanah akibat aktivitas tambang, aktivitas tektonik, konsolidasi tanah serta beban berat di atas tanah yang berlebihan (*overburden*).

Semarang merupakan salah satu kota besar di pantai utara Jawa, karakteristik tanah di daerah pantai utara Jawa ini sendiri sebagian besar terbentuk dari endapan alluvial. Endapan tersebut masih berumur muda dan belum ter-litifikasi, sehingga masih dalam proses konsolidasi dan kompaksi. Tanah yang masih dalam proses konsolidasi dan kompaksi ini dapat mengakibatkan terjadinya penurunan muka tanah. Selain itu kondisi tanah di kota Semarang masih labil, karena tersusun dari endapan rawa, endapan sungai dan endapan pantai. Berbagai penelitian juga menyebutkan bahwa sebagian besar daerah di Kota Semarang yang mengalami penurunan muka tanah adalah daerah yang struktur tanahnya terbentuk dari endapan aluvial.

Data penurunan muka tanah dapat diukur dengan menggunakan beberapa metode, antara lain: pengukuran GPS, sipat datar (*waterpass*) dan pengukuran menggunakan radar InSAR. Dalam pengolahan data GPS untuk keperluan pemantauan *land subsidence* tidak dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak komersial, karena dibutuhkan model estimasi dari *baseline* dan hitung jaringan yang teliti. Untuk itu, diperlukan perangkat lunak ilmiah pengolah data GPS, antara lain: Bernese, GYPSI dan GAMIT.

Penurunan muka tanah berhubungan dengan fenomena lainya seperti terjadinya banjir, keamanan bangunan, keamanan sarana perhubungan darat dan lainya yang biasanya bersifat destruktif, maka sistem pemantauan penurunan muka tanah ini adalah suatu hal yang penting untuk dilakukan (Abidin, 2006).

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar nilai penurunan muka tanah kota Semarang pada tahun 2015-2016 menggunakan metode GPS?
2. Berapa laju penurunan muka tanah di kota Semarang dalam periode tahun 2013-2016?
3. Berapa besar kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh bencana banjir rob di kota Semarang?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan besar nilai penurunan muka tanah di Kota Semarang pada tahun 2015-2016 menggunakan metode GPS.
2. Menentukan besar laju penurunan muka tanah Kota Semarang pada periode tahun 2013-2016.
3. Menentukan besar kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh bencana banjir rob di kota Semarang.

I.4. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Data Pengamatan GPS Kota Semarang di 7 titik pada tahun 2013-2016.
2. Pengamatan GPS dual frekuensi di 7 titik, secara statik selama 6-7 jam.
3. Pengolahan data pengamatan GPS dengan metode radial menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.6
4. Pengikatan titik menggunakan base titik TTG447.
5. Menggunakan 10 stasiun IGS sebagai titik ikat global.
6. Uji Statistik yang digunakan adalah uji-t untuk mengetahui signifikansi penurunan muka tanah tahun 2016 terhadap tahun 2015.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut:

Area studi penelitian ini adalah Kota Semarang yang mempunyai koordinat geodetis 6°50' - 7°10' LS dan 109°50' - 110°35' BT. Terdapat 7 titik pengamatan yang tersebar di beberapa kecamatan yaitu: Semarang Utara, Semarang Tengah, Semarang Selatan, Semarang Barat dan Semarang Timur.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah didefinisikan sebagai penurunan tanah relatif terhadap suatu bidang referensi tertentu yang dianggap stabil. Penurunan muka tanah dapat terjadi secara perlahan atau juga terjadi secara mendadak. Banyak kejadian penurunan muka tanah berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan muka tanah yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun untuk penurunan muka tanah yang bersifat secara perlahan diketahui

setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik. 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, biasanya terjadi didaerah yang berkapur (Whittaker dan Reddish, 1989 dalam Kurniawan, 2013).

Penurunan tanah dapat terjadi baik secara lokal maupun regional. Kondisi tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor penyebab, antara lain sebagai berikut (Whittaker dan Reddish, 1989 dalam Yuwono dkk., 2013):

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
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 dibawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas penambangan).

II.2. Global Potitioning System (GPS)

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS, kependekan dari “*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Position System*”. Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca ini, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin, 2006). Di Indonesia sendiri penggunaan GPS sudah dimulai sejak beberapa tahun yang lalu dan terus berkembang sampai saat ini baik dalam volume maupun jenis aplikasinya. Salah satu aplikasinya adalah untuk *monitoring* penurunan muka tanah.

Pada dasarnya GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terutama terdiri dari satelit-satelit GPS, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GPS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS (Abidin, 2006).

II.3. Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK

GAMIT adalah sebuah paket perangkat lunak ilmiah yang digunakan untuk pengolahan data

pengamatan GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institute of Techology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*) dan *Harvard University* dengan dukungan dari *National Science Foundation* untuk melakukan analisis pengamatan GPS yaitu estimasi koordinat stasiun, percepatan, fungsi *post*-seismik deformasi, *atmospheric delay*, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. Perangkat lunak ini dapat diperoleh tanpa perjanjian tertulis atau royalti oleh perguruan tinggi dan instansi pemerintah untuk tujuan non-komersial. Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi stasiun bumi, orbit satelit dan parameter orientasi bumi.

GLOBK adalah satu paket program yang dapat mengkombinasikan data survei terestris ataupun data survei ekstra terestris. Kunci dari data *input* pada GLOBK adalah matriks kovarian dari koordinat stasiun, parameter rotasi bumi, parameter orbit dan koordinat hasil pengamatan lapangan.

III. Metodologi Penelitian

Tahapan metodologi penelitian secara umum dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

III.1 Alat dan Data Penelitian

Peralatan dan data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

1. Perangkat keras
 - a. Laptop dengan spesifikasi Processor Intel inside Core i5-2450M CPU @ 2.50 Ghz, RAM 4.00 GB dan Sistem operasi 64-bit.
 - b. GPS Topcon Hiper GB dan GPS Topcon Hiper II.
 - c. Tripod
 - d. Meteran GPS
 - e. Alat tulis
2. Perangkat Lunak
 - a. Sistem Operasi Ubuntu 14.04
 - b. Scientific software GAMIT/GLOBK 10.6
 - c. TEQC digunakan untuk melakukan uji kualitas data

- d. Microsoft Office 2013
- 3. Data Penelitian
 - a. Data Pengamatan GPS di 7 titik di Kota Semarang tahun 2016
 - b. Data koordinat titik pengamatan pada tahun 2013-2015
 - c. Data titik ikat IGS (.o)
 - d. Data *precise ephemeris* (.sp3)
 - e. Data hatanaka file
 - f. Data navigasi satelit (.n)
 - g. Data pemodelan cuaca, atmosfer dan pasang surut laut
 - h. Peta Batas Administrasi Kota Semarang (BAPPEDA)
 - i. Peta Tutupan Lahan Kota Semarang (BAPPEDA)
 - j. Peta batas banjir rob

III.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu :

1. Data Pengamatan
 Pengadaan data pengamatan GPS penelitian ini dilakukan pada tanggal 19,20 dan 22Mei tahun 2016. Pengamatan GPS dilakukan pada 7 titik pengamatan selama 6-7 jam. Titik ikat lokal yang dinggunakan adalah titik TTG 447. Titik ikat IGS yang digunakan berjumlah 10 titik.
2. Data Pendukung
 Data Pendukung adalah data-data sekunder yang dibutuhkan saat pengolahan data. Data tersebut digunakan sebagai penunjang data primer untuk mendapatkan hasil akhir dalam penelitian. Pengolahan data pada penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu pengolahan GAMIT dan pengolahan uji statistik. Sedangkan data yang dibutuhkan untuk pengolahan uji statistik adalah data hasil pengolahan GAMIT pada tahun 2015 yang akan digunakan sebagai acuan dalam analisis penurunan muka tanah tahun 2016

III.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data secara garis besar terbagi atas 3 tahapan, yaitu: uji kualitas data, pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK dan uji signifikansi menggunakan uji-t.

III.3.1 Uji Kualitas Data dengan TEQC

Pengecekan kualitas data dilakukan sebelum melakukan pengolahan data dengan menggunakan *software* GAMIT dalam format RINEX dengan perangkat lunak TEQC. Pegecekan data dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya setiap pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit dan informasi lainnya.

III.3.2 Pengolahan Data dengan GAMIT/GLOBK

Langkah pertama yang dilakukan dalam pengolahan GAMIT adalah membuatdirektori kerja,

dengan membuatfolder yang berisi IGS, *h-file*, *rinex* dan*brdc*. Selanjutnya dilakukan pengeditan *control file*,seperti: *sestbl*, *station.info*, *l-file*, *process.default*, *sittbld*dan *sites.default*. Setelah tahapan persiapan, *input* datadan *editing* data selesai dilakukan, langkah selanjutnyaadalah melakukan perhitungan dengan GAMIT dengan memasukkan perintah menggunakan bahasa komputer.Hasil keluaran dari perangkat lunak GAMIT berupa estimasi dan matrik kovarian dari posisi stasiun dan parameter orbit dan rotasi bumi yang kemudian dimasukkan pada GLOBK.

File yang digunakan pada pengolahan dengan GLOBK yaitu *file* koordinat pendekatan (*.apr), *earthquake file* (eq_file) dan *command block file* (com_file), *sort file* (srt_file), apriori rotasi bumi (in_pmu). Proses harian (*daily processing* dengan GLRED) dan terakhir dilakukan proses global (*globalprocessing* dengan GLOBK). Proses pada GLOBK melakukan kombinasi lebih dari satu solusi, sekaligusmelakukan pengikatan terhadap sebuah *frame* koordinat. Hasil yang didapat dari proses tersebut dapat berupa koordinat kartesian tiga dimensi, data panjang *baseline*, ketelitian data pengamatan dan titik ikat pengamatan.

III.3.3 Uji Statistik “t” (Student)

Uji-t dikenal dengan uji parsial, yaitu untuk menguji bagaimana pengaruh masing-masing variabel bebasnya secara sendiri-sendiri terhadap variabel terikatnya. Uji ini dapat dilakukan dengan mambandingkan t-hitungan dengan t-tabel atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t-hitungan. Uji statistik ini dilakukan dengan cara menguji variabel pergerakan titik (Pij) dari sesi pengamatan i ke sesi j.

$$t = \frac{Pij}{Std Pij} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- t : Besaran yang menunjukkan signifikansi pergeseran
- Pij : Pergeseran titik pengamatan
- Std : Standar deviasi Pij

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengecekan Kualitas Data dengan TEQC

Kualitas baik buruknya data pengamatan GPS dapat dilihat dari nilai MP1 dan MP2. Nilai dari *moving average* tersebutdapat dilihat menggunakan perangkat lunak TEQC. Hasil seluruh pengecekan data pengukuran titik pengamatan dapat dilihat pada tabel1berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Data Titik Pengamatan

Titik (DOY)	Moving Average	
	MP 1	MP 2
N259 (140)	0,310889	0,311664
SP05 (140)	0,537345	0,568175
K371 (141)	0,636761	0,649178
WG17 (141)	1,301108	1,526306

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Data Titik Pengamatan (Lanjutan)

Titik (DOY)	Moving Average	
	MP 1	MP 2
SMK3 (143)	0,890947	1,020916
CTRM (143)	0,449369	0,455253
KOP8 (143)	0,622917	0,628047

Berdasarkan hasil pengecekan kualitas data pada titik pengamatan menunjukkan bahwa MP1 dan MP2 dari data pengamatan GPS terdapat titik pengamatan yang memiliki nilai lebih besar dari 0,5. Hal ini dapat dikarenakan adanya obstruksi yang berada di sekitar titik pengamatan. Namun, dalam pengolahan selanjutnya masih dapat digunakan karena dalam perangkat lunak GAMIT terdapat parameter estimasi orbit satelit yang dapat digunakan untuk mengkoreksi data RINEX titik pengamatan.

IV.2 Hasil Pengolahan GAMIT

Proses pengolahan GAMIT ini menghasilkan data keluaran diantaranya yang terpenting adalah *h-files*, *summary file*, dan *q-file*. Masing-masing *file* tersebut berisi hasil pengolahan yang menunjukkan kualitas data hasil pengolahan. *Q-file* berisi nilai *postfit* dan *prefit loosely constraint* baik *bias fixed* maupun *bias free* dan itu semua tertera secara ringkas di *summary file*. Isi dari *summary file* diantaranya adalah *number of station used* yang berisi banyaknya stasiun GPS yang dilakukan pengolahan. Nilai *postfit* paling baik mendekati 0.2 dan tidak melebihi 0.5 untuk memastikan bahwa tidak ada *cycle slips* yang cukup berarti. Hasil dari pengolahan *project* penelitian penurunan muka tanah ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil *summary* GAMIT titik pengamatan

Titik	Postfit nrms		Ambiguitas fase	
	Free bias	Fixed bias	WL Fixed	NL Fixed
N259	0.18396	0.18092	94,20%	86,60%
SP05	0.18425	0.18094	92,80%	81,20%
WG17	0.18443	0.17964	94,30%	74,20%
K371	0.18282	0.17882	93,70%	78,80%
CTRM	0.18453	0.18314	93,80%	80,90%
SMK3	0.18569	0.18473	92,70%	84,80%
KOP8	0.18278	0.18135	91,40%	78,90%

Dapat dilihat pada tabel 2 nilai *Wide Line* dan *Narrow Line* secara rata-rata masih dalam katagori baik dimana nilai WL dikatakan baik jika >90% dan NL >80%. Nilai pengolahan WL yang kurang dari kriteria menunjukkan adanya *noise* pada *pseudorange*. Sedangkan nilai NL yang bervariasi menunjukkan masih adanya kesalahan ukuran dan konfigurasi jaringan, kesalahan orbit, koordinat apriori atau kondisi buruk atmosfer. Hasil dari pengolahan GAMIT masih berupa matriks varian-kovarian dari data pengolahan dan belum menunjukkan nilai koordinat. Nilai matriks varian-kovarian tersebut berada pada *h-file* yang selanjutnya diolah dengan GLOBK.

IV.3 Hasil Pengolahan GLOBK

Proses pengolahan GLOBK dilakukan untuk mendapatkan hasil koordinat titik pengamatan. Hasil dari proses GLOBK ini berupa *file* dengan format *.org. Hasil koordinat yang didapatkan berupa koordinat kartesian 3D (X,Y,Z) dan koordinat toposentrik (n,e,u) beserta simpangan bakunya masing-masing. Hasil koordinat toposentrik pengolahan GLOBK dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai koordinat kartesian 3D titik pengamatan

TITIK	Koordinat (m)		
	X	Y	Z
N259	-777428,73187	12199522,31890	31,07266
SP05	-778022,28647	12200845,22340	30,33964
K371	-776925,94407	12196052,80349	28,75026
SMK3	-778662,40734	12201541,62627	29,79690
CTRM	-776102,59304	12203424,87440	27,83688
KOP8	-776265,38107	12200429,02189	27,52225
WG17	-775525,17613	12199095,19577	27,34855

Nilai yang dihasilkan merupakan nilai koordinat pendekatan yang sebelumnya diikatkan ke IGS sehingga nilai telah mengalami perubahan dibandingkan dengan koordinat absolut yang ada di RINEX. Inilah yang mengakibatkan nilai koordinat mengalami perubahan yang dapat dilihat pada *file* *.org.

IV.4 Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2016

Hasil koordinat titik pengamatan di tahun 2016 melalui proses GAMIT/GLOBK, selanjutnya digabungkan dengan data penelitian terdahulu pada tahun 2013-2015 agar didapatkan laju penurunan muka tanah. Pada penelitian ini difokuskan pada nilai penurunan tanahnya sehingga data yang ditampilkan adalah data ketinggian. Nilai ketinggian titik pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai ketinggian titik tahun 2013-2016

Titik	Tinggi (m)		
	2013	2015	2016
N259	31,1291	31,1046	31,0727
SP05	30,3983	30,3529	30,3396
K371	28,8561	28,8395	28,7503
SMK3	29,8661	29,8213	29,7969
CTRM	28,1219	27,8432	27,8369
KOP8	28,0421	27,8721	27,5223
WG17	-	-	27,3486

Data ketinggian tahun 2016 tersebut didapatkan dari hasil pengolahan menggunakan metode radial

dengan pengikatan ke *base* lokal dan titik ikat igs agar diperoleh hasil yang lebih teliti. Setelah didapatkan data ketinggian titik tahun 2016, selanjutnya dilakukan perhitungan laju penurunan tanah dari tahun 2013-2016. Fungsi linier yang digunakan dirumuskan sebagai berikut :

$$y = ax + b \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

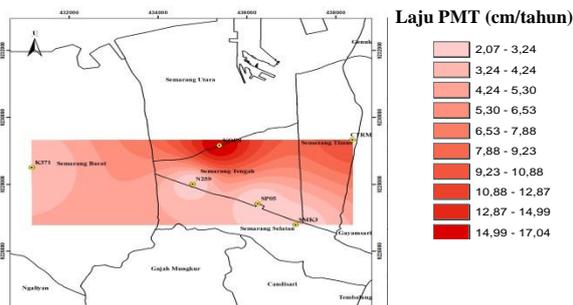
- x = waktu (tahun + sesi/365)
- y = data pada waktu ke t
- a dan b = nilai yang ditentukan berdasarkan kumpulan data pengamatan

Berdasarkan fungsi linier yang telah didapatkan untuk masing-masing titik pengamatan, maka dapat diperoleh laju penurunan tanah tiap titik pengamatan. Hasil dari laju penurunan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Laju penurunan tanah tahun 2013-2016

TITIK	Tinggi (m)			Laju PMT 2013-2016 (m/tahun)
	2013	2015	2016	
N259	31,1291	31,1046	31,0727	0,0226
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	0,0240
CTRM	28,1219	27,8432	27,8369	0,1039
KOP8	28,0421	27,8721	27,5223	0,1704
WG17	-	-	27,3486	-

Berdasarkan tabel 5, titik yang memiliki laju penurunan paling kecil adalah titik SP05 dengan laju penurunan muka tanah sebesar 2,07 cm. Titik yang memiliki laju penurunan muka tanah paling besar adalah titik KOP8 dengan laju penurunan sebesar 17,04 cm. Data laju penurunan muka tanah tersebut kemudianditampilkan dalam peta laju penurunan muka tanah menggunakan metode interpolasi. Hasil dari interpolasi IDW dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil interpolasi IDW raster penurunan

IV.5 Uji Statistik Menggunakan Uji t

Dilakukan uji signifikansi untuk mengetahui apakah ada perbedaan atau perubahan koordinat secara signifikan antara pengukuran pada tahun 2016 dengan pengukuran pada tahun 2015.

Tabel 6. Nilai ketinggian titik pengamatan tahun 2015-2016

Titik	Tinggi (m)		
	2015	2016	selisih
N259	31,1046	31,0727	-0,0319
SP05	30,3529	30,3396	-0,0133
K371	28,8395	28,7503	-0,0892
SMK3	29,8213	29,7969	-0,0244
CTRM	27,8432	27,8369	-0,0063
KOP8	27,8721	27,5223	-0,3499
WG17	-	27,3486	-

Berdasarkan rumus(1) maka dapat diketahui besar nilai t hitungan.

Penurunan dinyatakan signifikan atau hipotesa nol ditolak jika :

$$t \text{ hitungan} > t_{df, \alpha/2} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

- Pij : Penurunan titik pengamatan
- Std : Standar deviasi Pij
- df : Derajat kebebasan
- α : Level signifikan yang digunakan

Derajat kebebasan (df) diasumsikan tak terhingga karena interval pengamatan pada pengukuran titik sangat kecil dan pengukuran dilakukan dalam waktu yang lama, oleh karena itu digunakan tabel distribusi normal dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha = 5\%$), sehingga didapatkan nilai $t_{df, \alpha/2}$ sebesar 1,960. Jika t-hitungan lebih besar dari nilai t-tabel, hal itu menandakan parameter yang diuji mempunyai perbedaan yang signifikan. Apabila nilai t-hitungan lebih kecil dari t-tabel berarti parameter yang diuji tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Hasil uji t dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel7. Hasil uji t data pengamatan

TITIK	du	Std du	t	Perubahan Tinggi
N259	-0,0319	0,004940	6,46559	Ya
SP05	-0,0133	0,004965	2,67069	Ya
K371	-0,0892	0,004985	17,9017	Ya
SMK3	-0,0244	0,004985	4,89468	Ya
CTRM	-0,0063	0,004955	1,27548	Tidak
KOP8	-0,3499	0,004975	70,3216	Ya

Berdasarkan tabel 7, terdapat 5 titik yang mengalami perubahan tinggi ditandai dengan nilai t hitungan > dari t tabel. Terdapat 1 titik yang tidak mengalami perubahan tinggi yaitu titik CTRM dimana nilai t hitungan < t tabel. Meskipun titik CTRM kenyataannya mengalami penurunan, tetapi penurunan ini tidak terlalu signifikan sehingga dalam uji statistik

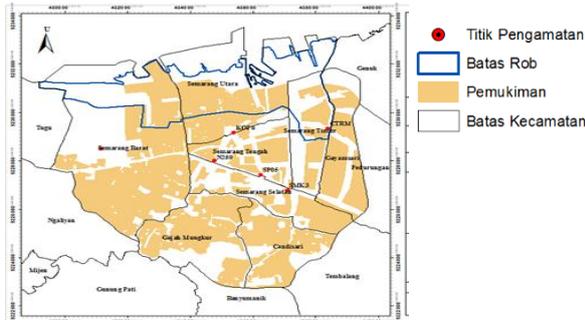
titik ini dianggap tidak mengalami perubahan tinggi. Titik WG17 karena merupakan titik baru yang diukur pada penelitian ini, maka tidak dapat dilakukan uji statistik.

IV.6 Analisis Kerugian Ekonomi Berdasarkan Dampak Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah selain menyebabkan kerusakan secara tidak langsung (banjir) juga dapat mengakibatkan kerusakan secara langsung seperti retaknya bangunan dan jalan. Kerugian yang diakibatkan dari penurunan muka tanah ini bisa terjadi di beberapa sektor ekonomi seperti : pemukiman dan infrastruktur jalan.

IV.6.1 Kerugian Ekonomi Sektor Pemukiman

Dibutuhkan data berupa luas daerah pemukiman serta data batas daerah rob untuk perhitungan kerugian ekonomi sektor pemukiman. Dari kedua data tersebut dilakukan analisis spasial union untuk mengetahui daerah pemukiman yang terkena rob.



Gambar3.Peta daerah pemukiman yang mengalami banjir rob

Banyaknya satuan unit rumah dapat dihitung sebagai berikut, dengan asumsi luas rumah ideal adalah 200 m² (Menteri Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

$$\text{Unit Rumah} = \frac{\text{Luas Daerah Pemukiman}}{200} \dots\dots\dots (4)$$

Berdasarkan nilai parameter kerugian rumah sebesar Rp. 15.000.000,- per rumah (BNPB, 2016) maka dapat dihitung jumlah kerugian ekonominya.

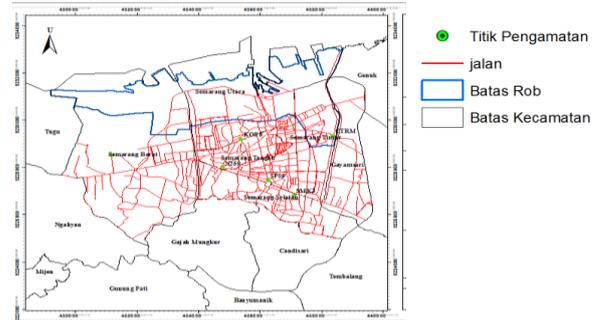
Tabel 8. Kerugian ekonomi sektor pemukiman

No	Kecamatan	Luas Pemukiman (m ²)	Unit Rumah	Kerugian (miliar)
1	Semarang Utara	3595922,568	17980	269,7
3	Semarang Timur	1203788,191	6019	90,285
4	Semarang Barat	2479949,363	12400	186
Total		7279660,122	36399	545,985

IV.6.1 Kerugian Ekonomi Sektor Infrastruktur Jalan

Tidak jauh berbeda dengan sektor pemukiman, dalam menentukan besar kerugian ekonomi pada

infrastruktur jalan maka perlu dihitung terlebih dahulu panjang jalan yang terkena dampak rob.



Gambar 4.Peta daerah rob terhadap infrastruktur jalan

Analisis kerugian pada sektor ini hanya mencakup jalan utama saja. Dengan unit satuan harga kerugian sektor infrastruktur jalan sebesar Rp. 1.480.000,- per meter (Gumilar I., 2013 dalam Akbar, 2015). Maka besar kerugian sektor infrastruktur jalan dapat dihitung.

Tabel 9.Kerugian ekonomi sektor infrastruktur jalan

No	Kecamatan	Panjang Jalan (m)	Kerugian (miliar)
1	Semarang Utara	23668,37069	35,029
2	Semarang Timur	18391,57778	27,220
3	Semarang Barat	5551,69636	8,217
Total		47611,64483	70,466

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis hasil data penelitian yang telah dilaksanakan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai penurunan muka tanah yang terjadi pada tahun 2016 dengan membandingkan data pengukuran tahun 2015 ke 2016 didapatkan rentang penurunan sebesar 1,33 -34,9 cm.
2. Nilai laju penurunan tanah yang terjadi pada tahun 2013-2016 memiliki rentang 2,07-17,04 cm/tahun. Dengan nilai laju penurunan terbesar berada pada titik KOP8 (17,04 cm/tahun) dan laju penurunan terkecil terjadi pada titik SP05 (2,07 cm/tahun). Laju penurunan untuk titik N259, K371, SMK3, CTRM masing-masing sebesar 2,26 cm/tahun; 3,39 cm/tahun; 2,4 cm/tahun; 10,39 cm/tahun.
3. Besar kerugian ekonomi yang ditimbulkan dari bencana banjir rob di kota Semarang pada sektor pemukiman sebesar Rp. 545,985 miliar dan sektor infrastruktur jalan sebesar Rp. 70,466 miliar.

V.2 Saran

Saran untuk pelaksanaan penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Sebelum dilakukan pengukuran, sebaiknya dilakukan pengecekan kondisi titik pengamatan apakah kondisi titik pengamatan layak untuk dilakukan pengukuran.
2. Sebaiknya jumlah titik diperbanyak khususnya untuk daerah Semarang Utara dan Semarang Timur agar didapatkan hasil peta penurunan Kota Semarang yang lebih detail.
3. Untuk memperoleh data yang lebih baik, perlu dilakukan perencanaan survei dan strategi pengamatan yang lebih cermat. Misalnya dengan durasi pengamatan yang lebih lama serta lebih memperhatikan saat centering alat dan pengukuran ketinggian alat.
4. Pengamatan dan penelitian penurunan muka tanah sebaiknya dilakukan secara kontinyu dan menggunakan kombinasi teknologi geodesi seperti DinSAR, InSAR sehingga didapatkan hasil yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita: Jakarta.
- Akbar, T.O. 2015. *Analisis Dampak Penurunan Muka Tanah Terhadap Tingkat Ekonomi Menggunakan Kombinasi Metode DinSAR dan SIG*. Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2016. *RBI Risiko Bencana Indonesia*. BNPB. Jakarta.
- Handoko, E.Y., A. Kurniawan, dan Angger S.M. 2011. *Apakah Surabaya Terjadi Land subsidence? Kajian Awal Land Subsidence Surabaya*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah 2011. Teknik Geomatika ITS. Surabaya.
- Khoirunisa, R. 2015. *Analisis Penurunan Muka Tanah di Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.5*. Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kurniawan, A. 2013. *Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.04 Kurun Waktu 2008-2013*. Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Yuwono, B.D., H.Z. Abidin, dan M. Hilmi. 2013. *Analisis Geospasial Penyebab Penurunan Muka Tanah di Kota Semarang*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Semarang.