

ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG TAHUN 2015 MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GAMIT 10.5

Risty Khoirunisa, Bambang Darmo Yuwono, 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](mailto:geodesi@undip.ac.id)

ABSTRAK

Beberapa tahun terakhir ini, Kota Semarang sering mengalami banjir rob, air laut yang masuk ke daratan disebabkan turunnya muka tanah atau yang biasa dikenal dengan *land subsidence*. Penurunan muka tanah bukan hanya menjadi masalah di Kota Semarang, tapi juga kota-kota besar lainnya di Indonesia, seperti Jakarta dan Surabaya. Struktur geologis dan aktifitas manusia seperti pembangunan gedung-gedung baru merupakan penyebab utama terjadinya penurunan.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah pengukuran GPS statik yang kemudian diolah secara radial dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT (*GPS Analysis of MIT*) 10.5. Nilai penurunan tanah didapat dengan membandingkan hasil tinggi *ellipsoid* pengukuran GPS sebelumnya di titik yang sama dengan hasil tinggi pada pengolahan. Kemudian dilakukan analisis spasial dengan penggunaan lahan, jenis tanah, dan kepadatan penduduk untuk mengetahui hubungannya dengan nilai penurunan muka tanah.

Dari penelitian ini didapatkan rentang nilai penurunan tanah yang berkisar dari 0,83 s.d. 13,935 cm/tahun. Lokasi yang mengalami penurunan cukup tinggi berada di daerah Semarang Utara dan Semarang Timur. Dari hasil penelitian juga didapatkan adanya hubungan laju penurunan tanah dengan kepadatan penduduk, penggunaan lahan dan jenis tanahnya. Daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, lahannya sebagian besar digunakan untuk pemukiman dan bangunan, dan jenis tanah adalah alluvial mengalami penurunan tanah yang relatif lebih besar dibandingkan daerah yang lain.

Kata Kunci : Analisis Spasial, GAMIT, GPS, Penurunan Muka Tanah, SIG

ABSTRACT

In the recent years, Semarang city experienced a lot of flooded sea water called rob. This phenomenon caused by land subsidence. This problem not only occurred in Semarang city, but also other big cities, such as Jakarta and Surabaya. Geological structures and human activities, such as new building construction and groundwater extraction on a large scale were the main cause of land subsidence.

In this study, data collecting methods was GPS-static measurement that later processed using GAMIT (GPS Analysis of MIT) 10.5 Software. Value of land subsidence obtained by comparing the difference between height value on previous measurement and height value on present measurement. Next process was analyzed the result with landuse, soil type and population density to obtained their spatial correlation with land subsidence value using ArcGIS 10.1 software.

The research obtained variation range of land subsidence value from 0,83 cm/year to 13,935 cm/year. The highest subsidence value was North and East Semarang Area. The research also obtained its correlation with population density, landuse and soil type. The area where population density value was high, landuse mostly used for habitation, and soil type was alluvial had higher value of land subsidence.

Keywords : GAMIT, GIS, GPS, Land Subsidence, Spatial Analyst

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Selama beberapa dekade terakhir ini, Kota Semarang sering mengalami banjir rob (air laut masuk ke daratan) yang mengakibatkan rusaknya jalan dan infrastruktur yang ada di Kota Semarang. Penyebab banjir rob yang utama adalah kenaikan muka air laut yang diakibatkan berbagai faktor, salah satunya adalah penurunan muka tanah atau yang biasa disebut dengan *land subsidence*. Penurunan muka tanah bukan hanya menjadi masalah di Kota Semarang, tapi juga kota-kota besar lainnya di Indonesia, seperti Jakarta dan Surabaya. Fenomena ini juga menjadi masalah di negara yang lain seperti, China, Hongkong, dan Thailand. Penurunan muka tanah ini dapat disebabkan banyak faktor, diantaranya adalah pengambilan air tanah yang berlebihan, aktivitas tektonik maupun vulkanik, kondisi geologis, aktivitas penambangan, dan penurunan karena beban bangunan. Dari semua faktor diatas, penurunan akibat kondisi geologis dan aktifitas manusia dipercaya sebagai penyebab penurunan tanah yang dominan untuk kota-kota besar, seperti Kota Semarang ini.

Tanah yang ada di Kota Semarang sendiri terbentuk dari endapan alluvial yang terdiri dari material berukuran lempung dan pasir. Lapisan pembentuk tersebut berumur muda yang memiliki derajat kompaksi rendah sehingga masih memungkinkan tahapan pemadatan dan berpengaruh dengan penurunan muka tanah. Jenis tanah ini dipercaya lebih muda mengalami konsolidasi (pemampatan) dibandingkan jenis tanah yang lain.

Untuk mendapatkan data penurunan muka tanah dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, diantaranya dengan pengukuran GPS, *Waterpass (levelling)* dengan *microgravity* (menggunakan gravimeter), Ps InSAR, DinSaR, dan sebagainya. Penulis sendiri menggunakan pengukuran GPS dengan membandingkan data tinggi *ellipsoid* dengan pengukuran GPS sebelumnya di titik yang sama untuk mendapatkan data penurunan muka tanah kota Semarang tahun 2015 yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak GAMIT (*GPS Analysis of MIT*). Metode GPS digunakan karena dapat memberikan nilai komponen beda tinggi ellipsoid dengan tingkat presisi sampai beberapa mm dan dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu dan cuaca.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besaran nilai penurunan muka tanah yang terjadi di kota Semarang pada tahun 2015 menggunakan metode GPS?
2. Berapa laju penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode tahun 2013-2015?
3. Bagaimana hubungan antara penurunan muka tanah di Kota Semarang dengan kepadatan penduduk, jenis tanah dan penggunaan lahannya?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan besaran nilai penurunan muka tanah yang terjadi di kota Semarang pada tahun 2015 menggunakan metode GPS.
2. Mendapatkan besar laju penurunan muka tanah kota Semarang dalam periode tahun 2013-2015.
3. Mengetahui hubungan antara penurunan muka tanah dengan kepadatan penduduk, jenis tanah dan penggunaan lahannya.

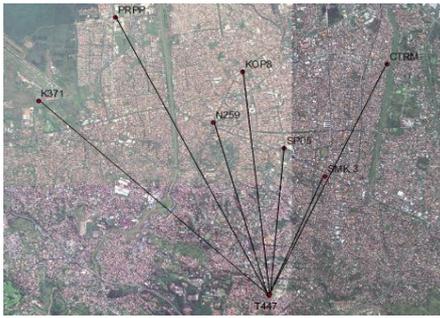
I.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup atau batasan masalah dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Data Pengamatan GPS geodetik di 7 titik penurunan Kota Semarang tahun 2013 dan 2015.
2. Pengamatan GPS menggunakan metode statik selama kurang lebih 6-8 jam pengamatan.
3. Pengolahan Data GPS dengan metode radial menggunakan perangkat lunak GAMIT.
4. Hasil pengolahan dianalisis berdasarkan data kepadatan penduduk, jenis tanah dan tata guna lahan di Kota Semarang untuk mendapatkan nya dengan nilai penurunan.

I.5 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian untuk penurunan muka tanah ini dilakukan di delapan titik pengamatan sekitar Kota Semarang pada tanggal 11-12 dan 14-17 April 2015. Lokasi titik pengamatan tersebar pada 7 titik pengamatan dengan pengikatan ke base lokal yaitu T447 di Kaliwuru, Jatingaleh, Semarang. Pengukuran menggunakan mode statik selama 6-8 jam sesuai dengan pengukuran minimal survei geodinamika dan pengolahan menggunakan mode radial seperti tahun-tahun sebelumnya. Lokasi sebaran pengamatan dapat dilihat pada gambar I.1.



Gambar I.1. Sebaran titik pengamatan (google earth)

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. Dalam 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. (Ardiansyah, 2012).

Berbagai penyebab terjadinya penurunan tanah alami bisa digolongkan menjadi (Kurniawan, 2013) :

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi, seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan pengambilan bahan cair yang ada di perut bumi seperti air dan minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang diakibatkan oleh beban berat yang ada diatas bumi seperti struktur bangunan yang membuat lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan ini juga sering disebut *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari dalam bumi (aktivitas penambangan)
5. Sedimentasi daerah cekungan (sedimentary basin).
6. Adanya rongga di bawah permukaan tanah sehingga atap rongga runtuh dan hasil runtuhan atap rongga membentuk lubang yang disebut *sink hole*.

II.2 Survei GPS Untuk Pemantauan Penurunan Muka Tanah

Penyelidikan deformasi/amblesan lahan biasanya dilakukan berulang pada kala yang berbeda. Pengukuran pada masing-masing kala tersebut kemudian dapat diratakan terpisah ataupun digabung. Dalam pengukuran beberapa kala, akan diperoleh pergeseran titik sehingga parameter-parameter dapat ditentukan (Widjajanti, 1997 dalam Kurniawan, 2013).

Berdasarkan hasil pengukuran dua kala akan diperoleh perbedaan koordinat (posisi) dan tinggi sehingga dapat diketahui informasi *land subsidence* yang terjadi.

Mengingat laju penurunan tanah yang umumnya relatif lambat maka studi pemantauan fenomena penurunan lebih efisien dilakukan secara episodik (periodik). Keuntungan dan keunggulan studi penurunan muka tanah menggunakan metode GPS adalah (Abidin, 2006) :

1. GPS memberikan nilai penurunan muka tanah dalam sistem koordinat referensi tunggal, sehingga dapat digunakan untuk memantau fenomena penurunan tanah di suatu wilayah yang relatif luas secara efektif dan efisien.
2. GPS dapat memberikan komponen beda tinggi ellipsoid dan tingkat presisi sampai beberapa mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal.
3. GPS dapat dimanfaatkan tanpa tergantung waktu dan cuaca (fleksible).

II.3 Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK

GAMIT adalah paket analisis GPS komprehensif yang dikembangkan di MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) dan SIO (*Scripps Institution of Oceanography*). Perangkat lunak ini digunakan untuk mengestimasi tiga-dimensi posisi relatif stasiun bumi dan orbit satelit. Perangkat lunak ini dirancang untuk berjalan di bawah sistem operasi UNIX mendukung XWindows.

GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) adalah perangkat lunak pemfilter data dengan metode kalman filter, yang bertujuan untuk menggabungkan solusi dari pengolahan data primer dari geodesi satelit atau pengukuran terestris. Pengolahan diterima sebagai data (*quasi observation*) yang terkait dengan matrik kovarian untuk koordinat titik, parameter rotasi bumi parameter orbit, dan posisi titik yang dihasilkan dari analisis observasi. Data masukan berupa *h-file* dari hasil pengolahan GAMIT atau GIPSY atau *Bernesse* (Herring, 2010).

III. Metodologi Penelitian

III.1 Alat dan Bahan

Peralatan keras dan lunak yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain :

1. Laptop yang memiliki spesifikasi Processor Intel Core i3 CPU @ 1.90 Ghz, RAM 2.00 GB dan Sistem Operasi 64-bit.
2. Microsoft Office 2013
3. ArcGIS 10.1
4. *Topcon tools* v.8.1
5. PC-CDU
6. GAMIT 10.5
7. Sistem operasi *windows 8.1 pro* dan *linux ubuntu 14.04*
8. TEQC (*Translation, Editing and Quality Check*)
9. Empat buah set *receiver GPS dual frequency*
10. Empat buah Tripod
11. Empat buah meteran GPS

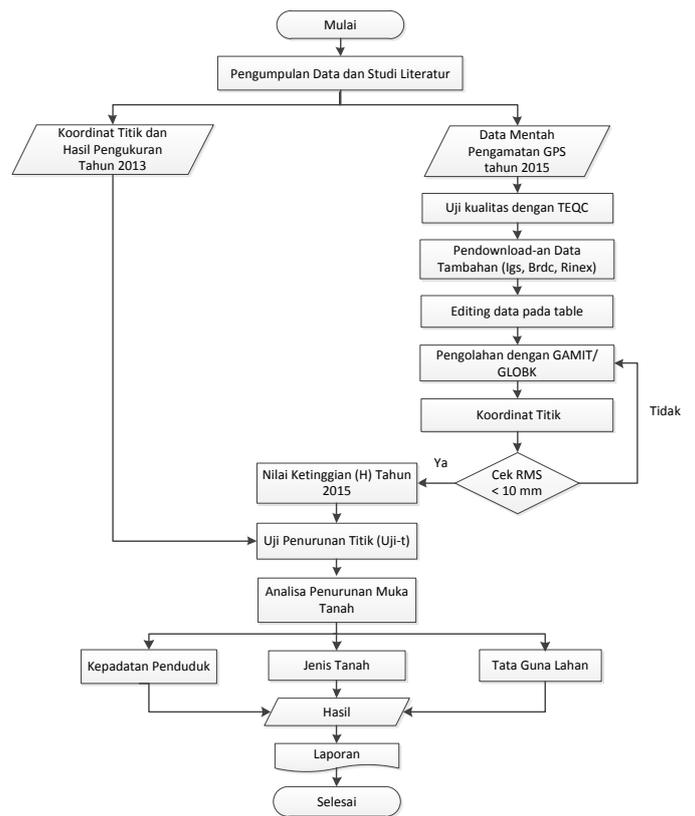
III.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian antara lain :

1. Data Pengukuran GPS dengan interval perekaman 10 detik dan lama waktu pengamatan 6-8 jam.
2. Data Koordinat titik pengamatan pada tahun 2013.
3. Data Titik Ikat IGS.
4. Data navigasi satelit (.n).
5. Data *precise ephemeris (.sp3)*.
6. Data *Hatanaka file*.
7. Data kependudukan Kota Semarang BPS tahun 2014.
8. Citra Quickbird tahun 2011.
9. Peta Jenis tanah dan kepadatan penduduk kota Semarang.

III.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam diagram dibawah ini (Gambar III.1) :

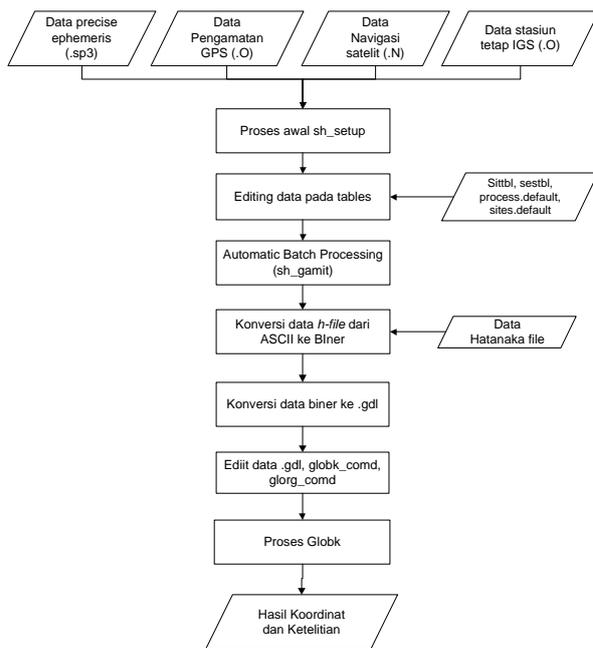


Gambar III.1. Diagram alir penelitian

III.4 Pengolahan Data dengan GAMIT/GLOBK

Hal yang pertama dilakukan adalah membuat direktori sebelum pengolahan GAMIT, dengan membuat 4 folder yang berisi IGS, *tables*, *rinex*, dan *brdc*. Setelahnya dilakukan pengeditan *control file*, seperti : *Sestbl*, *station.info*, *lfile*, *process.default*, *sittbl* dan *sites.default*. Setelah tahapan persiapan, *input* data dan editing data selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan GAMIT dengan memasukkan perintah menggunakan bahasa computer.

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. Metodologi dalam pengolahan data GPS dengan GAMIT dan GLOBK dapat dilihat pada gambar III.2



Gambar III.2. Diagram alir pengolahan dengan GAMIT/GLOBK

IV. Hasil Pengolahan Data GPS

IV.1 Cek kualitas Rinex

Data observasi titik pengamatan penurunan muka tanah sebelum diolah perlu dilakukan pengecekan kualitas terlebih dahulu dengan menggunakan perangkat lunak TEQC. Hasil dapat dilihat di tabel IV.1.

Tabel IV.1. hasil *quality check* titik pengamatan

TITIK	<i>moving average</i>		<i>IOD slips</i>		<i>IOD/MP slip</i>	
	MP1 (m)	MP2 (m)	<10°	>10°	<10°	>10°
N259	0,321431	0,331317	0	0	0	0
CTRM	0,428800	0,411269	0	15	0	19
K371	0,962989	0,948361	0	1	0	6
SP05	0,664798	0,694632	0	58	0	68
KOP8	0,516514	0,471002	0	62	0	64
PRPA	0,773365	0,764034	0	4	0	5
SMK3	0,697050	0,692375	0	535	0	553

Hasil pengecekan untuk data titik-titik pantau dapat dilihat di tabel 1. Nilai dari mp1 dan mp2 dapat dilihat bahwa ada beberapa titik pantau yang berada diluar standar, karena hasil perekaman juga tergantung dari obstruksi disekitar daerah titik pantau, 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

Pengolahan dengan GAMIT menghasilkan berbagai macam *file* baru dari pengolahan. *File* hasil pengolahan dengan GAMIT yang digunakan untuk menentukan kualitas hasil pengukuran adalah *Qfile*. *Qfile* berisi nilai *postfit* dari hasil *loosely constraint* baik *bias fixed* maupun *bias free*. Pengecekan hasil proses menggunakan GAMIT dapat pula dilihat pada *file summary*. Hasil dari pengolahan GAMIT dapat dilihat pada tabel IV.2.

Tabel IV.2. Summary GAMIT titik pengamatan

Titik	Nilai nrms		Ambiguitas fase <i>fixed</i> (%)	
	<i>Prefit</i>	<i>Postfit</i>	<i>WL-fixed</i>	<i>NL-fixed</i>
N259	0.39697	0.28715	91.4	70
CTRM	0.47018	0.31722	100	93.3
K371	0.33318	0.28925	100	77.7
SP05	0.34251	0.27253	100	75
PRPA	0.20271	0.25141	100	65.5
KOP8	0.48908	0.30419	100	61.5
SMK 3	0.46502	0.37447	90	90

Dari tabel 2 terlihat nilai nrms tidak ada yang melebihi 0.5, hal itu menandakan pengolahan sudah cukup baik dan tidak mengandung *cycle slips*. Untuk solusi ambiguitas fase, Nilai pengolahan *Wide lane* (WL) yang baik berkisar antara 90 - 100% sehingga pengolahan data gamit sudah dapat dikatakan baik. Sedangkan nilai pengolahan *Narrow Lane* (NL) bervariasi menandakan adanya kesalahan pada ukuran dan konfigurasi jaringan, kualitas orbit, koordinat apriori, atau kondisi 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

Hasil pengolahan GLOBK berupa nilai koordinat dalam 3 sistem koordinat yaitu, geosentrik (X,Y,Z) toposentrik (N,E,U) dan geodetis (L,B, H) beserta standar deviasi yang tersimpan di *file* berekstensi *glorg* (*.org). Tabel IV.3 merupakan koordinat titik pengamatan dalam geodetis.

Tabel IV.3. Nilai koordinat geodetis titik pengamatan

Titik	Lintang	Bujur	Tinggi (m)
N259	-6.9837592	110.4095249	31.1046
CTRM	-6.9718463	110.442143	27.8432
K371	-6.9792461	110.3767756	28.8395
SP05	-6.9890908	110.4228506	30.3529
PRPA	-6.9622067	110.3912073	27.4804
KOP8	-6.9733093	110.4150279	27.8721
SMK 3	-6.9948432	110.4305107	29.8213

Hasil lainnya yang diperoleh adalah nilai statistik *chi-squared increment per degree of freedom* Nilai statistik χ^2/f ini digunakan untuk menentukan konsistensi dari solusi GAMIT *loosely constraint* parameter yang digunakan terhadap GLOBK. Tabel IV.4 menunjukkan nilai dari statistik χ^2/f untuk GLOBK pada penelitian ini.

Tabel IV.4. Nilai χ^2/f dari pengolahan GLOBK

nilai χ^2/f	TITIK						
	N259	CTRM	K371	SP05	PRPA	KOP8	SMK3
igs1	0.776	0.842	0.824	0.569	0.766	0.898	0.842
igs2	1.075	0.471	0.510	0.688	1.075	0.554	0.417
igs3	1.053	0.590	0.529	0.726	1.053	0.317	0.590
igs4	0.406	0.883	0.670	0.569	0.406	0.402	0.883
igs5	0.100	0.892	0.888	1.775	0.100	0.658	0.892
igs6	0.376	1.079	1.086	0.978	0.376	0.988	1.079
igs7	0.934	0.771	0.062	0.996	0.934	1.065	0.771

Nilai χ^2/f yang kecil diawal menandakan nilai apriori dan *constraint* konsisten terhadap data yang diolah. Nilai *chi-square* diatas nilai 1 ditolak atau tidak dipakai (*not used*) untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Pengaturan atau *setting* maksimal nilai *chi-square* dilakukan di *globk_comd* (Kurniawan, 2013).

IV.4 Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa titik penurunan terkecil dalam rentang waktu 2013-2015 berada pada titik K371 dengan nilai penurunan sebesar 1,66 cm. Titik yang berlokasi di Bandara Ahmad Yani ini memang penurunannya cenderung kecil dan stabil ila dilihat dari pengukuran-pengukuran sebelumnya. Sedangkan titik yang mengalami penurunan terbesar adalah titik CTRM dengan nilai penurunan sebesar 27,87 cm. Titik yang berada di jembatan Citarum,

Semarang Timur ini memiliki penurunan yang relatif besar dari tahun ke tahun.

Dari tinggi tahun 2015 dapat didapatkan laju penurunan dengan rentang tahun 2013 – 2015 (2 tahun). Laju penurunan didapatkan melalui perhitungan pada rumus (1) (Kurniawan, 2013) :

$$\text{Laju Penurunan} = (H_2 - H_1) / (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan

- H₂ = Elevasi prediksi pada tahun terrkini (2015)
- H₁ = Elevasi tahun awal (2013)
- t₂ = Tahun terkini (2015)
- t₁ = Tahun awal (2013)

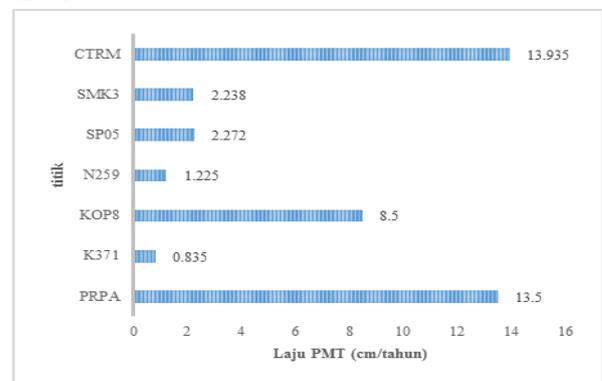
Hasil perhitungan laju penurunan dapat dilihat pada tabel IV.5.

Tabel IV.5. Prediksi laju penurunan titik pengamatan per tahun (2013-2015)

Titik	H(m) 2013	H (m) 2015	ΔH (m) 2013-2015	Laju PMT cm/tahun
N259	31.1291	31.1046	-0.0245	1,2250
CTRM	28.1219	27.8432	-0.2787	13,935
K371	28.8561	28.8395	-0.0166	0,8300
SP05	30.3983	30.3529	-0.0454	2,2720
PRPA	27.7504	27.4804	-0.2700	13,5000
KOP8	28.0421	27.8721	-0.1700	8,5000
SMK3	29.8661	29.8213	-0.0448	2,2385

Dari tabel IV.5 didapatkan bahwa laju penurunan terkecil dalam waktu 2 tahun ini berada pada titik K371 dengan laju penurunan sebesar 0.83 cm/tahun. Sedangkan titik yang mengalami laju penurunan terbesar adalah titik CTRM dengan Laju penurunan sebesar 13,935 cm/tahun.

Grafik penurunan muka tanah semarang di tahun 2015 digambarkan pada Gambar IV.1, dimana titik tertinggi berada di CTRM dan titik terendah berada di K371.



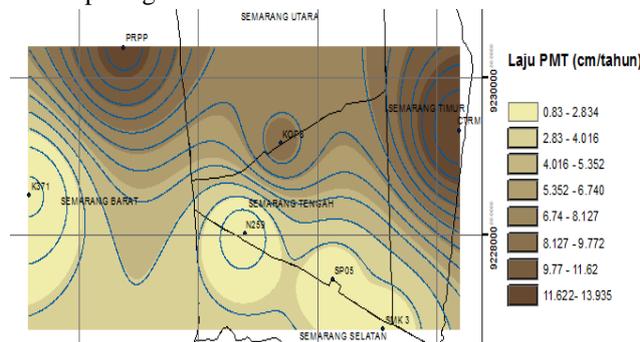
Gambar IV.1. Grafik Penurunan Muka Tanah Kota Semarang tahun 2015

Berikut ini hasil pengolahan penurunan muka tanah di Kota Semarang menggunakan berbagai media pengukuran dan pengolahan (*levelling, GPS, dan DInSar*) dari tahun-tahun sebelumnya sebagai pembandingan. Hasil disajikan dalam tabel IV.6.

Tabel IV.6. Hasil penelitian penurunan muka tanah di Semarang beberapa tahun terakhir

No	Nama peneliti	Teknik	Tahun	Laju PMT
1	Dept Geofisika, ITB	Microgravity	2008	0-15 cm/tahun
2	Kuen dan Mardohardono	PS InSaR	2009	6-8 cm/tahun
3	Sutomo Kahar	Levelling	2011	1-9 cm/tahun
4	Hasanuddin Z. Abidin, dkk	GPS	2011	0.8-13.5 cm/tahun
5	Eko Andik Saputro	DinSaR	2012	0.78-14.13 cm/tahun
6	Aldika Kurniawan	GPS	2013	0.2-17.2 cm/tahun
7	Risty Khoirunisa	GPS	2015	0.83 – 13.935 cm/tahun

Pembuatan peta persebaran penurunan muka tanah menggunakan interpolasi dengan metode IDW seperti dijelaskan di bab III. Hasil kontur dan interpolasi dapat dilihat pada gambar IV.2.



Gambar IV.2. peta hasil kontur dan interpolasi raster

Dari gambar dapat terlihat semakin ke utara dan timur kota Semarang warna semakin gelap. Hal ini menandakan penurunan yang semakin tinggi. Penurunan yang paling tinggi berada di sekitar titik PRPA dan CTRM.

IV.5 Uji Penurunan titik menggunakan t-tabel

Dalam penelitian ini, perlu dilakukan pengecekan signifikansi secara statistik dari vektor pergeseran hasil estimasi GPS tersebut. 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 membandingkan t-hitungan dengan t-tabel atau dengan melihat kolom signifikansi pada masing-masing t-hitungan (Amirrudin, 2014).

Statistik yang digunakan untuk uji penurunan titik ditunjukkan oleh rumus (2):

$$T = \Delta H / \sigma (dH) \dots\dots\dots (2)$$

Penurunan dinyatakan signifikan atau hipotesa nol ditolak jika :

$$T > t \text{ tabel} \dots\dots\dots (3)$$

ΔH = penurunan titik pengamatan

$\sigma (dH)$ = standar deviasi

T = besaran yang menunjukkan signifikansi penurunan

Nilai t-tabel dihitung dengan menggunakan selang kepercayaan sebesar 95% ($\alpha = 5\%$), sehingga didapatkan nilai t sebesar 1,960. Jika t-hitungan lebih besar dari nilai t-tabel, ha itu menandakan parameter yang diuji mempunyai perbedaan yang signifikan. Akan tetapi apabila nilai t-hitungan lebih kecil dari t-tabel berarti parameter yang diuji tidak mempunyai perbedaan yang signifikan, sehingga bisa dikatakan titik cenderung tetap dan tidak mengalami pneurunan. Tabel IV.7 merupakan hasil hitungan nilai t-hitungan dan t tabel.

Tabel IV.7. Uji Penurunan titik dari sesi pengamatan 2013 ke 2015

Titik	H(m) 2013	H (m) 2015	dH (m)	T hitungan	t-tabel 95%	Ada/tidak Penurunan
N259	31.1291	31.1046	0.00494	2.4797570	1.960	Ada
CTRM	28.1219	27.8432	0.00497	28.038229		Ada
K371	28.8561	28.8395	0.00499	1.6633266		Tidak
SP05	30.3983	30.3529	0.00496	4.5806451		Ada
PRPA	27.7504	27.4804	0.00454	29.735682		Ada
KOP8	28.0421	27.8721	0.00497	17.102615		Ada
SMK3	29.8661	29.8213	0.00499	4.4859714		Ada

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel IV.7 menunjukkan semua titik mengalami penurunan secara vertikal kecuali titik K371 yang berada di daerah Bandara Ahmad Yani, kecamatan Semarang Barat, kota Semarang. Hal ini menandakan titik K371 tidak mengalami penurunan tanah yang signifikan. Sehingga bisa dikatakan nilai yang terjadi pada titik K371 merupakan nilai kesalahan saat pengukuran.

IV.6 Hasil Analisis Spasial

Analisis dilakukan untuk mendapatkan hubungan laju penurunan dengan factor penurunan seperti tata guna lahan, kepadatan penduduk dan jenis tanah.

Dari hasil *Buffer* area di sekeliling titik pengukuran dengan radius yang sama, yaitu 500 meter Area luas *Buffer* yang dihasilkan ketujuh titik semua bernilai sama, yaitu 785398.163397 m². Perbandingan

luas pemukiman dan bangunan dalam radius 500 meter hasil interpretasi citra dapat dilihat pada tabel IV.8.

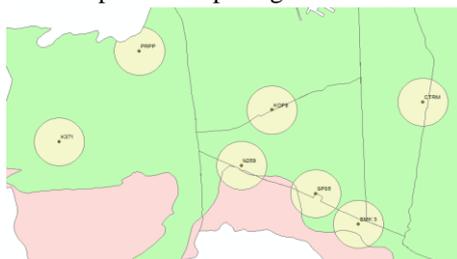
Tabel IV.8. Perbandingan luas pemukiman dan bangunan dalam radius 500 meter

Titik	Luas Area Buffer	Luas Pemukiman/ bangunan (m ²)	Coverage (%)	Laju PMT (cm/tahun)
PRPA	785398.1634	550196.8805	70.05	13.500
K371	785398.1634	255537.0805	32.53	0.835
KOP8	785398.1634	709971.3031	90.39	8.5
N259	785398.1634	711297.5957	90.56	1.225
SP05	785398.1634	672628.8579	85.64	2.272
SMK3	785398.1634	649473.5232	82.69	2.238
CTRM	785398.1634	653642.7186	83.22	13.935

Dari tabel dapat dilihat bahwa titik K371 di daerah Bandara Ahmad Yani, Semarang Barat memiliki cakupan pemukiman dan bangunan yang paling rendah dengan diisi hanya 32,53%. Ini sesuai dengan tingkat penurunan muka tanahnya yang paling rendah, yaitu 0,835 cm/tahun.

Daerah dengan luas bangunan dan pemukiman yang sedikit seperti di daerah pengamatan K371 memiliki penurunan yang kecil. Dan daerah dengan penurunan paling besar (CTRM) memiliki cakupan luas bangunan yang cukup besar, yaitu 83,22% Namun, perlu diperhatikan untuk titik PRPA yang penurunannya cukup besar (12,385 cm/tahun) hanya memiliki cakupan luas bangunan sekitar 70,05 %. Penurunan yang cukup besar di daerah ini lebih disebabkan faktor lain seperti daerah titik yang dekat dengan pantai. Namun dapat dilihat untuk cakupan pemukiman dan bangunan yang besar seperti N259 tidak mempengaruhi penurunan tanahnya secara drastis. Berarti ada faktor lain yang harus dianalisis, seperti jenis tanah, penggunaan air, jumlah penduduk, dan lainnya.

Jenis tanah alluvial (ditunjukkan dengan warna hijau) yang memang merupakan lempung tanah muda dan mudah mengalami konsolidasi sehingga mengakibatkan tanah semakin turun. Jenis tanah ini tersebar di daerah Semarang yang mengarah ke pantai utara. Informasi jenis tanah pada masing- masing titik pengamatan dapat dilihat pada gambar IV.3.

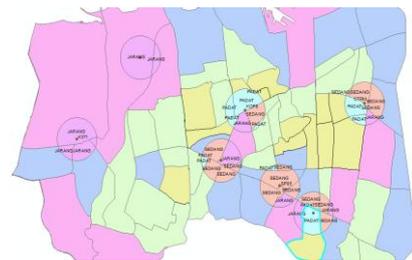


Gambar IV.3.. Peta jenis tanah disekitar titik pengamatan

Daerah dengan tingkat penurunan tinggi yang diwakili oleh PRPA, CTRM dan KOP8 kesemuanya berjenis tanah alluvial sedangkan N259, SP05 dan SMK3 masih memiliki tanah mediteran (ditunjukkan dengan warna merah muda) yang tidak terlalu mudah berkonsolidasi. Walaupun K371 yang penurunannya kecil memiliki jenis tanah alluvial, tapi hal ini tidak berdampak banyak karena daerah pada titik pengukuran K371 memiliki sedikit pemukiman, dan masih banyak lahan kosong dan sawah.

Sedangkan untuk analisis kepadatan penduduk digunakan data kependudukan tahun 2014 dari badan pusat statistika. Nilai kepadatan sendiri didapatkan dari jumlah penduduk dibagi dengan luas, lalu diklasifikasikan. Pengklasifikasian di dasarkan pada rentang data kepadatan penduduk dengan rentang terendah 4,2 dan tertinggi 287,08 jiwa/m². Kepadatan penduduk dibagi dalam 3 kelas, yaitu :

1. Jarang, rentang kelas 0 s.d > 70 jiwa/Ha
2. Sedang, rentang kelas 70 s.d >140 jiwa/ Ha
3. Padat, rentang kelas <=140 jiwa/ Ha
- 4.



Gambar IV.4. Peta kepadatan penduduk di sekitar titik pengamatan

Dari gambar IV.4 terlihat titik yang memiliki kepadatan cukup besar memang memiliki tingkat penurunan yang lumayan, namun tidak untuk PRPA. PRPA walaupun jarang penduduknya namun memiliki penurunan yang cukup besar. Hal ini dapat saja terkait dengan letak PRPA yang dekat pantai dan berjenis tanah alluvial.

Penulis juga mencoba menganalisis nilai kepadatan prediksi per titik dari jumlah rata-rata kelurahan yang ada di sekitar titik dalam radius 500 meter. Dari hasil penjumlahan nilai kepadatan penduduk pada kelurahan – kelurahan yang ada di sekitar titik tersebut didapatkan nilai rata-rata prediksi kepadatan penduduk pada titik pengamatan yang disajikan pada pada tabel IV.9.

Tabel IV.9. Nilai rata-rata kepadatan penduduk di sekitar titik pengamatan

Titik	K371	PRPA	KOP8	N259	SP05	SMK3	CTRM
Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)	52.095	29.735	148.794	117.707	91.988	114.487	142.216
Laju PMT (cm/tahun)	0.835	13.500	8,5	1.225	2.272	2.238	13.935

Daerah yang padat penduduk, jumlah penggunaan air tanahnya juga semakin bertambah. Pengambilan air tanah yang semakin banyak menyebabkan ruang kosong di bawah tanah yang mempermudah tanah mengalami penurunan. Ditambah lagi kondisi kota Semarang yang sudah banyak kehilangan daerah resapan air (ruang terbuka hijau) akibat banyaknya pembangunan membuat ketidakseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan air tanah.

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara laju penurunan muka tanah dengan penggunaan tanah (khususnya bangunan dan pemukiman), jenis tanah dan kepadatan penduduk yang dapat dilihat di bawah ini (tabel IV.10):

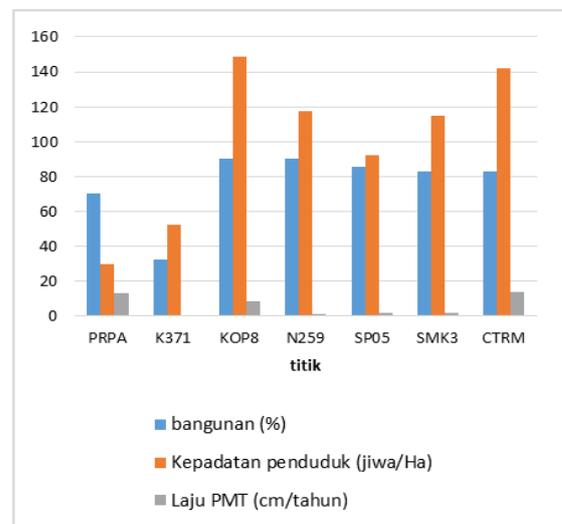
Tabel IV.10. Rekapitulasi analisis spasial laju penurunan muka tanah di Kota Semarang

Titik	Laju PMT (cm/tahun)	Landuse	Jenis tanah	Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)
PRPA	13.500	Pemukiman dan Bangunan (70.05%), Tambak	Alluvial	Jarang (29.735)
K371	0.835	Sawah Irigasi, Vegetasi, pemukiman dan Bangunan (Bandara terutama) (32.53%), Tanah Kosong	Alluvial	Jarang (52.095)
KOP8	8.500	Pemukiman dan Bangunan (90.39%), Vegetasi	Alluvial	Padat (148.794)
N259	1.225	Pemukiman dan Bangunan (90.56%), Vegetasi	Alluvial-Mediterranean	Sedang - Padat (117.707)
SP05	2.272	Pemukiman dan Bangunan (85.64%), Vegetasi	Alluvial-Mediterranean	Sedang - Padat (91.988)
SMK3	2.238	Pemukiman dan Bangunan (82.69%), Vegetasi	Alluvial-Mediterranean	Sedang - Padat (114.487)
CTRM	13.935	Pemukiman dan Bangunan (83.22%), Tegalan	Alluvial	Padat (142.216)

Semakin banyaknya penduduk suatu tempat, maka pembangunan juga akan bertambah pesat. Namun sayangnya hal ini tidak diimbangi dengan kemampuan tanah menahan bebas di atasnya. Belum lagi kekosongan ruang bawah tanah karena pengambilan air besar-besaran, seperti di daerah pinggiran (CTRM, PRPA) dimana kebanyakan masyarakatnya masih menggunakan air tanah. Hal ini dipercaya juga

menjadi salah satu faktor penyebab penurunan muka tanah di kota Semarang.

Gambar IV.5 menunjukkan hasil analisis per titik pengamatan dimana PRPA menunjukkan nilai bangunan dan kepadatan penduduk yang tidak seimbang. Hal ini berarti bangunan-bangunan di sekitar titik PRPA lebih diperuntukkan untuk pabrik dan industri. Sedangkan untuk K371, KOP8, N259, SP05 dan SMK3 menunjukkan nilai yang berbanding lurus antara banyaknya bangunan dan kepadatan penduduk, dimana semakin banyak bangunan, semakin padat penduduknya.



Gambar IV.5. Grafik hubungan bangunan dan kepadatan penduduk dengan laju penurunan

Nilai korelasi dan signifikansi antara Laju penurunan muka tanah dengan kepadatan penduduk dan cakupan bangunan menggunakan perangkat lunak SPSS dapat dilihat pada tabel 11

Tabel IV.11. Nilai koefisien Korelasi dan Signifikansi

	Laju PMT	Kepadatan	Coverage
Laju PMT Pearson Correlation	1	.044	.198
Sig. (2-tailed)		.926	.670
N	7	7	7
Kepadatan Pearson Correlation	.044	1	.687
Sig. (2-tailed)	.926		.088
N	7	7	7
Coverage Pearson Correlation	.198	.687	1
Sig. (2-tailed)	.670	.088	
N	7	7	7

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Nilai penurunan muka tanah yang terjadi pada tahun 2015 dengan membandingkan data sesi pengukuran 2013 ke 2015 mendapatkan rentang nilai sebesar 1.66 – 28.78 cm.
2. Nilai laju penurunan muka tanah di Kota Semarang pada tahun 2013 - 2015 memiliki rentang 0.83 – 13.935 cm/tahun dengan nilai terbesar ada pada titik CTRM (13.935 cm/tahun), PRPA (13.500 cm/tahun) dan KOP8 (8.5 cm/tahun dan nilai terkecil ada pada titik K371 (0.83 cm/tahun) dan N259 (1.225 cm/tahun).
3. Daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan banyak bangunan dan pemukiman seperti CTRM (142.216 jiwa/m²) dan KOP8 (9148.794 jiwa/m²) memiliki penurunan yang lebih besar dibandingkan daerah lainnya. Daerah dengan jenis batuan tanah alluvial seperti PRPA, CTRM dan KOP8 mengalami laju penurunan yang relatif besar dibandingkan titik N259, SMK3 dan SP05 yang tanah pembentuknya terdiri dari batuan jenis alluvial dan mediteran.
4. Nilai korelasi laju penurunan muka tanah dengan cakupan bangunan bernilai 0,198 sedangkan nilai korelasi laju penurunan muka tanah dengan kepadatan penduduk lebih kecil dibandingkan dengan cakupan bangunan, hanya bernilai 0,044.

V.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya diantaranya sebagai berikut:

1. Pengamatan dan penelitian penurunan muka tanah sebaiknya dilakukan secara kontinyu dan menggunakan kombinasi teknologi geodesi seperti *InSAR*, *DinSAR*, Pengukuran terestris dengan *waterpass instrument (levelling)*, dan gravimetri untuk mendapatkan informasi penurunan yang lebih teliti.
2. Kerapatan dan jumlah titik sebaiknya diperbanyak khususnya didaerah dekat pantai (semarang utara, genuk, dsb). Hal ini untuk mempermudah analisis dan agar peta yang dihasilkan menghasilkan peta penurunan yang lebih detail dengan kontur yang lebih rapat.
3. Untuk penelitian selanjutnya lebih baik dilakukan analisis lebih mendalam dengan menggunakan metode pembobotan atau skoring.

Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.

Amirrudin, A. 2014. *Pengamatan GPS Untuk Monitoring Deformasi Bendungan Jatibarang Menggunakan Software Gamit 10.5*. Skripsi. Semarang : Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Ardiansyah, F. 2012. *Analisis Akurasi Hasil Pengolahan Baseline GPS dengan Perangkat Lunak Komersial Untuk Studi Land subsidence*. Skripsi. Semarang : Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Kurniawan, A. 2013. *Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.04 Kurun Waktu 2008-2013*. Skripsi. Semarang : Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Yuwono, B.D, dkk. 2013. *Analisis Geospasial Penyebab Penurunan Muka Tanah Di Kota Semarang*. SNST Prosiding Vol. 4 No. 4 Hal 21-28. Semarang : Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim

Daftar Pustaka