

ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG METODE SURVEI GNSS TAHUN 2019

Lisa Nur Istiqomah*) L.M Sabri, Bambang Sudarsono

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

ABSTRAK

Penurunan muka tanah (*land subsidence*) telah banyak terjadi di berbagai kota termasuk Kota Semarang. Kota Semarang merupakan kota yang mempunyai peran penting yaitu sebagai ibukota yang menjadi pusat pembangunan, pemerintahan, perekonomian di provinsi Jawa Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan muka tanah yang terjadi di Kota Semarang dengan melakukan survei menggunakan metode pengamatan GNSS. Penurunan tanah adalah salah satu fenomena deformasi permukaan bumi secara vertikal di samping terjadi fenomena *uplift*. Penurunan tanah dapat berlangsung dalam kurun waktu yang lama, sehingga jika terjadi terus menerus, daerah yang mengalami penurunan tanah akan mengalami dari penurunan itu sendiri, sedangkan penurunan tanah itu sendiri tidak merata di setiap daerah. Penelitian ini memanfaatkan patok-patok pengamatan yang berada di sekitar objek penelitian. Pengamatan GNSS ini dilakukan dengan metode statik selama kurang lebih 6 jam di 9 titik di Kota Semarang. Nilai penurunan muka tanah diperoleh dengan pengolahan data survei tahun 2018 dan tahun 2019 metode survei GNSS yang diolah menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT yang titik pengamatannya diikatkan dengan 5 stasiun CORS. Nilai laju penurunan muka tanah yang paling besar terdapat pada titik B061 sebesar 7,796 cm/tahun dan yang paling kecil yaitu titik T447 sebesar 1,795 cm/tahun.

Kata Kunci : Semarang, Penurunan Muka Tanah, GNSS, GAMIT

ABSTRACT

Land subsidence has occurred in many cities including Semarang City. Semarang City is a city that has an important role, namely as the capital which is the center of development, government and economy in the province of Central Java. This study aims to determine how much land subsidence occurred in the city of Semarang by conducting a survey using the GNSS observation method. Land subsidence is one of the phenomena of vertical surface deformation in addition to the uplift phenomenon. Land subsidence can take place over a long period of time, so that if it occurs continuously, areas that experience land subsidence will experience a decline itself, whereas land subsidence itself is uneven in each region. This study utilizes observational benchmarks that are around the research object. This GNSS observation was carried out by the static method for approximately 6 hours at 9 points in the city of Semarang. Land subsidence value was obtained by processing survey data in 2018 and in 2019 the GNSS survey method which was processed using GAMIT scientific software whose observation points were tied to 5 CORS stations. The highest land subsidence rate is at point B061 of 7,796 cm / year and the smallest point is T447 point of 1,795 cm / year.

Keywords: Semarang, Land Subsidence, GNSS, GAMIT

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Permukaan bumi merupakan benda yang dinamis, yang mana gaya-gaya yang terjadi di sekitar permukaan bumi akan mempengaruhi bentuk bumi. Salah satu fenomena yang terjadi karena kedinamisan permukaan bumi ini adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*) yang telah banyak terjadi di berbagai wilayah bumi termasuk di Kota Semarang. Penurunan muka tanah menyebabkan resiko seperti kerusakan pondasi bangunan, jaringan transportasi, jaringan pipa bawah tanah, sistem drainase dan infrastruktur lainnya serta menimbulkan resiko terjadinya banjir rob dan pencemaran air.

Kota Semarang merupakan kota yang mempunyai peran penting di Jawa Tengah karena Kota Semarang menjadi ibukota yang menjadi pusat pembangunan, pemerintahan, perekonomian di provinsi Jawa Tengah. Pesatnya pembangunan yang terjadi di Kota Semarang menyebabkan pemukimannya menjadi cukup padat sehingga masuk sebagai salah satu faktor terjadinya penurunan muka tanah karena beban akibat beban bangunan di atasnya sehingga air dalam pori akan terlepas keluar yang menyebabkan konsolidasi secara terus menerus sampai ke permukaan tanah sehingga membuat terjadinya penurunan muka tanah.

Pemantauan penurunan muka tanah di suatu wilayah dapat dikaji dengan beberapa metode geodesi, baik itu dengan pengukuran terestris seperti survei sipat datar (*levelling*), survei *Total Station* dan survei GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Dalam melakukan penelitian mengenai penurunan muka tanah ini, peneliti menggunakan metode survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dengan membandingkan data tinggi ellipsoid pada titik yang sama dengan pengukuran GNSS tahun sebelumnya, diharapkan titik kontrol yang dikaji mendapatkan hasil posisi yang sangat teliti dan presisi. Untuk pengolahan data dari data GNSS penelitian ini menggunakan *Scientific Software GAMIT*. Metode GPS digunakan karena dapat memberikan nilai beda tinggi ellipsoid dengan tingkat ketelitian sampai beberapa millimeter (mm) dan dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu dan cuaca.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Barapa besaran nilai penurunan muka tanah di titik-titik pengamatan pada tahun 2019?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dalam penelitian ini adalah: Mengetahui besaran nilai penurunan muka tanah Kota Semarang tahun 2019.

I.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran GNSS di Kota Semarang dengan titik amat BUGN, KOP8, K371, N259, TTG447, SMK3, B061,

PMAS dan PRPA dengan titik ikat CORS BIG di Jepara (CJPR), Magelang (CMGL), Pekalongan (CPKL), Purwodadi (CPWD), dan Semarang (CSEM).

2. Pengumpulan data titik kontrol di Kota Semarang dengan melakukan pengukuran metode GNSS di Kota Semarang menggunakan GPS *dual frequency* metode static.
3. Pengolahan data pengamatan GNSS menggunakan *Scientific Software GAMIT 10.7* sehingga dihasilkan koordinat titik pengamatan.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Penurunan Muka Tanah

Penurunan tanah adalah salah satu fenomena deformasi permukaan bumi secara vertikal di samping terjadi fenomena *uplift*. Penurunan tanah dapat berlangsung dalam kurun waktu yang lama, sehingga jika terjadi terus menerus, daerah yang mengalami penurunan tanah akan mengalami dari penurunan itu sendiri, sedangkan penurunan tanah itu sendiri tidak merata di setiap daerah (Ahzab dkk, 2016). Penurunan tanah juga dapat terjadi baik secara lokal maupun regional, menurut whittaker and Reddish, 1989 kondisi penurunan muka tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor yang dapat digolongkan menjadi:

1. Penurunan muka tanah alami atau *natural subsidence* yang disebabkan oleh faktor alam seperti siklus geologi, aktifitas vulkanik atau tektonik ataupun terdapatnya rongga dibawah permukaan tanah.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan air tanah, minyak yang terdapat di dalam tanah, atau sering disebut *groundwater extraction*.
3. Penurunan tanah yang diakibatkan oleh pembebanan struktur bangunan atau gedung yang menyebabkan suatu lapisan di dalam tanah mengalami konsolidasi atau kopaksi.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat secara berlebihan dari dalam bumi seperti aktifitas penambangan ekstrim.
5. Sedimentasi yang terjadi pada daerah cekungan (*sedimentary basin*).
6. Rongga dibawah tanah yang menyebabkan runtuhnya atap rongga yang membentuk sebuah lubang yg disebut *sink hole*.

II.2 Survei GNSS

Survei GNSS merupakan bentuk kegiatan lapangan dalam pengumpulan data penentuan koordinat suatu titik yang ingin diketahui nilainya dengan melakukan pengamatan dan pengukuran jarak secara simultan antara suatu receiver dengan beberapa satelit yang koordinat dan orbitnya telah diketahui. Suatu titik dalam posisi yang diperoleh dari hasil pengamatan adalah posisi tiga dimensi yang dinyatakan dalam suatu datum referensi serta tingggi yang diperoleh adalah tinggi dari ellipsoid.

Penentuan koordinat suatu titik dengan GPS di permukaan bumi menggunakan pengukuran jarak bersama-sama ke beberapa satelit yang koordinatnya telah diketahui sekaligus. Pada saat pengukuran Receiver membutuhkan minimal 4 satelit yang ditangkap sinyalnya dengan baik untuk mendapatkan koordinat suatu titik di permukaan bumi. Penentuan posisi titik di permukaan bumi dengan GPS diberikan dalam koordinat kartesian tiga dimensi (X, Y, Z) pada system koordinat WGS 84 (*World Geodetic Sistem*) kemudian koordinat tersebut ditransformasikan ke dalam koordinat geodetik (lintang, bujur, h).

II.3 CORS (Continuously Operating Reference Station)

CORS merupakan suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetic yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan receiver yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara penuh dan kontinu selama 24 jam dengan merekam, mengumpulkan data, mengirimkan data, dan memungkinkan user memanfaatkan data dalam penentuan posisi, baik secara post processing maupun secara real time. CORS menyediakan data pengamatan kode (C/A, P1, dan P2) dan data fase (L1 dan L2), GPS ephemeris, koreksi untuk DGPS, model ionosfir, troposfer dan lain-lain.

Data dapat disimpan perjam atau perhari dengan selang waktu pengamatan per 1 detik, 5 detik, 10 detik, 15 detik, dan 30 detik, kemudian dikirim melalui jaring telekomunikasi berkecepatan tinggi ke pusat pengendalian jaringan untuk selanjutnya disimpan, didistribusikan atau diolah untuk kepentingan lainnya. CORS dibangun bertujuan untuk titik ikat yang memiliki radius cukup dekat dengan titik pengukuran sehingga dapat diperoleh data berkualitas baik. (Saputra, 2017)



Gambar 2. Sebaran stasiun CORS di Indonesia (<http://inaCORS.big.go.id>)

II.4 GAMIT

Gamit (*GPS Analysis Massachusset Institute of Technology*) dan GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) yang merupakan perangkat lunak yang bersifat ilmiah dan bersifat *open source* dengan *platform* berbasis UNIX/LINUX. GAMIT dan GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT (*Massachusetts Institution of Oceanography*), CFA

(*Harvard-Simthsonian Center for Astrophysics*) dan *Scripps Institution of Oceanography* (SIO) untuk mengestimasi koordinat dan kecepatan stasiun, representasi fungsional dan *stokastik* dari pasca kejadian deformasi, *delay* atmosfer, orbit satelit dan parameter orientasi bumi (Wirawan, 2019)

GAMIT adalah singkatan dari *GPS Analysis Software of Masshachusstes Institute of Technology and Scripps Institution of Oceanography*, sedangkan GLOBK adalah singkatan dari *Global Kalman Filter Software* ini didesain untuk *running* di Sistem Operasi berbasis UNIX, dan telah diimplementasikan jauh pada versi LINUX, Mac-OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC dan DEC. Untuk mengontrol proses dari *Software* memakai *C-Shell scripts* (disimpan di */com* dan sebagian besar *scriptnya* dimulai dengan *sh*) yang mana melibatkan bahasa *Fortran* atau C untuk proses *compile* di direktori */libraries, /GAMIT* dan */kf*. Jumlah stasiun maksimal dan pemberian parameter atmosfer ditentukan oleh kumpulan dimensi saat waktu *compile* dan dapat menyesuaikan persyaratan serta kemampuan perhitungan analisis. GLOBK ini 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. GLOBK sendiri merupakan *kalman filter* yang tujuan utamanya untuk mengkombinasikan solusi dari data yang telah diproses di GAMIT dengan pengamatan *space geodesy*, sehingga didapat estimasi posisi dan kecepatannya. Pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT dilaksanakan melalui 4 tahapan pengolahan, yaitu *makexp, makex, fixdrv* dan *batch processing*. Hasil akhir dari pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT berupa *file Q, file H* dan *file L*.

II.5 Lokasi Penelitian

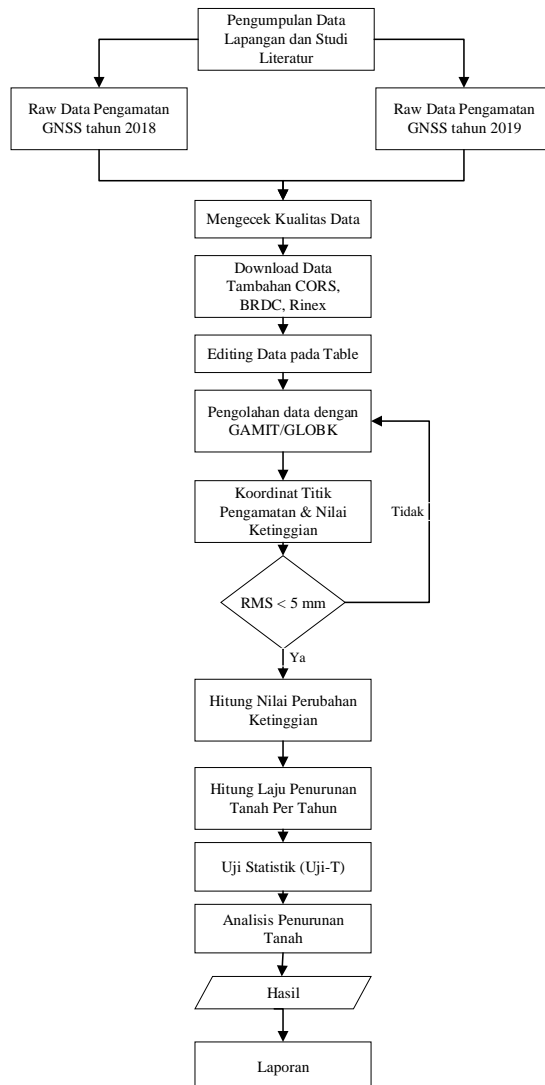
Lokasi penelitian ini berada di 9 titik amat di Kota Semarang. Untuk setiap titiknya dilakukan pengamatan dalam waktu kurang lebih 6 jam pada waktu yang bersamaan. Sebaran titik pengamatan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sebaran titik pengamatan pada citra google earth

II.6 Diagram Alir

Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

II.7 Peralatan Penelitian

Sarana penunjang penelitian berupa alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

II.7.1 Alat

Peralatan yang diperlukan selama proses pengolahan data terdiri dari perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) sebagai berikut:

1. 5 set Receiver GNSS Geodetic *dual frequency* yang digunakan untuk proses akuisisi data. Receiver GNSS bermerek Topcon antara lain sebagai berikut:
 - a. GPS Topcon Hiper II
 - b. GPS Topcon Hiper GB
 - c. GPS Topcon Hiper SR
2. Perangkat Komputer beserta spesifikasinya

- a. Jenis Laptop :TOSHIBA Intel Core i5
RAM 4GB 64 bit
- b. Sistem operasi :Windows 10 Pro 64-bit,
LINUX Ubuntu

3. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. GAMIT 10.7
- b. TEQC
- c. Microsoft Office 2013

II.7.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pengolahan data ini adalah sebagai berikut:

1. Data Pengukuran GNSS pengamatan tahun 2019 di 9 titik dengan lokasi titik amat N259, KOP8, K371, SMK3, BUGN, B061, PRPA, PMAS dan T447
2. Data Pengamatan GNSS tahun 2018 di 9 titik pengamatan
3. Data Titik ikat CORS BIG di Jepara (CJPR), Magelang (CMGL), Pekalongan (CPKL), Purwodadi (CPWD), dan Semarang (CSEM).
4. Data *rinex* IGS ephemeris final orbit. File ini dalam bentuk *.sp3 dan dapat diunduh dari <http://garner.ucsd.edu/pub/products/>.
5. File navigasi. File navigasi ini yang digunakan adalah yang bertipe brdcDDD0.YYn (DDD: DOY, YY: Tahun) dan dapat diunduh dari <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/daily>.
6. Data Hatanaka file (H-files). H-file global diunduh pada <ftp://garner.ucsd.edu/pub/hfiles> dengan DOY yang sama dengan DOY pada saat pengamatan.

II.8 Tahap Pengolahan Data GNSS

Data pengamatan GNSS titik pengamatan penurunan tanah dioalah menggunakan titik ikat CORS BIG CJPR di Jepara, CMGL di Magelang, CPKL di Pekalongan, CSEM di Semarang dan titik CPWD di Purwodadi. Strategi pengolahannya dengan metode jaring yang nantinya akan dibandingkan dengan 1 titik ikat.

II.8.1 Pengolahan dengan TEQC

Pemeriksaan Kualitas data dengan menggunakan *software* TEQC. sebelum data diolah menggunakan GAMIT harus diperiksa kualitas datanya terlebih dahulu menggunakan *software* TEQC. TEQC (*Translating, Editing and Quality Control*) merupakan perangkat lunak yang dapat dijalankan pada sistem windows maupun Linux yang dijalankan melalui command prompt. Proses pengecekan ini dapat diketahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai multipath, total satelit serta informasi lainnya pada saat perekaman data.

II.8.2 Pengolahan dengan GAMIT

Data pengamatan yang sudah dilakukan pengecekan kualitas data selanjutnya yaitu diolah dengan *software* GAMIT. Pengolahan data dengan GAMIT dimulai dengan pembuatan direktori kerja GAMIT yang berbasis file Rinex serta file pendukung lainnya. Tahapan pengolahan dengna GAMIT yaitu antara lain:

1. Membuat folder direktori kerja. Manajemen folder merupakan tahapan awal dari pengolahan dengan GAMIT agar data pengamatan serta file-file pendukung yang nantinya akan diolah dapat terbaca secara otomatis oleh software GAMIT. Contoh nama dari project ini adalah /prpa, /n259, /t447, /kop8, /k371, /bugn, /smk3, /pmas, /b061. Pembuatan direktori kerja selanjutnya yaitu dengan menambahkan beberapa folder dalam setiap folder project. Folder-folder tersebut antara lain rinex, igs, brdc, dan hfile.
2. Pembuatan Folder *Tables* dan pengeditan file
Proses menjalankan GAMIT diawali dengan pembuatan sub-folder tables dan pengeditan data. *Editing* pada beberapa file yang ada di dalam folder tables antara lain lfile, sittbl, sestbl, station.info dan sites.default. Sub-folder tersebut dapat dibuat melalui syntax :
`sh_setup-yr <yyyy>`. yyyy isi dengan tahun pengamatan contoh `sh_setup -yr 2019`
3. *Automatic Batch Processing* dengan GAMIT
Proses *Automatic Batch Processing* dengan GAMIT dilakukan setelah pembuatan direktori kerja dan pengeditan file. Proses ini dilakukann dengan perintah `sh_gamit -expt <expt> -noftp -d <yyyy> <do> -pres ELEV -orbit IGSF`.

II.8.3 Pengolahan dengan GOBK

Hasil dari pengolahan dengan GAMIT yang akan diolah dalam GLOBK yaitu h-file. H-file yang dihasilkan GAMIT merupakan data dalam ASCII. GLOBK dapat dijalankan apabila file tersebut berbentuk *.gdl sehingga diperlukan konversi ke dalam bentuk data biner serta *.gdl. Tahapan dalam pengolahan dengan GLOBK antara lain :

1. Konversi Data ASCII h-files ke Data Biner
Hasil pengolahan data pada GAMIT akan menghasilkan beberapa file salah satunya yaitu h-file berupa format file ASCII yang harus dikonversikan ke data biner karena untuk melakukan perhitungan ke tahap GLOBK hanya bisa dilakukan dengan format data biner. cara konversi data dapat dilakukan dengan perintah:
`htoglb <directory output> <ephemeris file> <input file>`
contoh perintah pada pengolahan ini adalah:
`htoglb glbf tables/N259.svs hgamit/h*`
2. Konversi data biner ke file *.gdl
Data biner harus dikonversi menjadi file *.gdl karena GLOBK hanya bisa membaca file berekstensi *.gdl. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menuliskan perintah `ls ../glbf/*.glx >> <nama project>.gdl` pada folder /gsoln. Contoh dalam pengolahan ini dapat dituliskan sebagai berikut: `ls ../glbf/*.glx > N259.gdl`
3. Pengolahan GLRED dan GLOBK
Pengolahan data dengan GLOBK dapat dilakukan dengan perintah `glorg.cmd` dan `globk.cmd`. Perintah ini dijalankan secara terpisah di dalam folder `gsoln`. Perintah yang digunakan adalah sebagai berikut:

`glred <std out><print file ><log file ><expt list><command file >`

`globk <std out><print file ><log file ><expt list><command file >`

Contoh dalam pekerjaan ini digunakan perintah :

`glred 6 glred.prt glred.log N259.gdl glorg.cmd`
`globk 6 globk.prt globk.log N259.gdl globk.cmd`

III. Hasil dan Analisis

III.1 Hasil Pemeriksaan dengan TEQC

Proses pengecekan dilakukan dengan menggunakan *command promp* yang terdapat pada OS Windows. Perintah yang diberikan dalam melakukan pengecekan adalah `teqc + qc <observation file>`. Kualitas datanya dapat dilihat pada *moving average multipath* MP1 dan MP2. Setiap titik pengamatan memiliki nilai multipath yang berbeda-beda tergantung pada kondisi obstruksi di sekitar titik pengamatan, semakin banyak pbstruksi makan nilai multipath akan semakin besar. Nilai MP1 dan MP2 dari raw data rinex pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kualitas data pengukuran periode 2019

TITIK	MOVING AVERAGE		Alat Ukur	DOY
	MP1 (m)	MP2 (m)		
K371	1,030	1,061	Hiper GB	118
KOP8	1,714	1,911	Hiper II	118
N259	0,389	0,394	Hiper II	118
PRPA	0,978	1,227	Hiper SR	118
B061	0,716	0,722	Hiper GB	119
BUGN	0,924	0,964	Hiper II	119
PMAS	1,885	1,998	Hiper SR	119
SMK3	1,092	1,335	Hiper II	119
T447	1,053	1,272	Hiper SR	119

Tabel 1 menunjukkan hasil kualitas data pengukuran pada periode 2019 multipath yang paling besar yaitu terdapat pada titik PMAS dengan nilai MP1 sebesar 1,885 m dan MP2 1,998 m. Nilai multipath terkecil terdapat pada titik N259 yaitu dengan nilai MP1 sebesar 0,389 m dan MP2 0,394 m.

III.2 Hasil Pengolahan dengan GAMIT/GLOBK

Pada pengolahan GAMIT akan menghasilkan beberapa file untuk dapat diterima dan dilakukan proses perhitungan menggunakan GLOBK. Koordinat yang dihasilkan dalam pengolahan GLOBK adalah koordinat kartesian geosentrik (X, Y, Z) serta koordinat toposentrik global (n,e,u). Hasil perataan dengan

menggunakan 5 titik ikat ditampilkan dalam tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Hasil Perataan 5 titik ikat tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,034	12199688,626	132,116	0,004	0,004	0,005
KOP8	-776265,367	12200429,026	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,684	12199522,223	31,143	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,345	12198093,818	27,921	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,905	12196052,509	28,781	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,277	12203273,786	27,703	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,367	12201541,512	29,889	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,292	12202168,697	27,676	0,004	0,005	0,005
B061	-773826,603	12201494,732	27,130	0,004	0,004	0,005

Tabel 3 Hasil Perataan 5 titik ikat tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,035	12199688,626	132,102	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,352	12200429,022	27,240	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,686	12199522,219	31,113	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,339	12198093,823	27,883	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,900	12196052,506	28,748	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,279	12203273,781	27,648	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,360	12201541,528	29,845	0,005	0,005	0,005
PMAS	-773287,291	12202168,693	27,616	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,604	12201494,730	27,065	0,004	0,005	0,005

Hasil perataan jaringan diuji kekonsistennannya dengan membandingkan pengolahan dengan menggunakan satu titik ikat dalam satu tahun yang sama. Titik ikat yang digunakan antara lain CJPR (Jepara), CMGL (Magelang), CPKL (Pekalongan), CPWD (Purwodadi) dan CSEM (Semarang). Tabel 4 sampai tabel 8 menampilkan hasil perataan menggunakan 1 titik ikat pada tahun 2018. Tabel 9 sampai tabel 13 hasil perataan menggunakan 1 titik ikat pada tahun 2019.

Tabel 4. Hasil Perataan 1 titik ikat (CPWD) tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,034	12199688,628	132,116	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,367	12200429,026	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,683	12199522,222	31,143	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,345	12198093,818	27,921	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,905	12196052,509	28,781	0,005	0,005	0,005

BUGN	-776635,272	12203273,789	27,703	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,354	12201541,516	29,890	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,294	12202168,698	27,676	0,004	0,005	0,005
B061	-773826,603	12201494,730	27,130	0,004	0,004	0,005

Tabel 5. Hasil Perataan 1 titik ikat (CJPR) tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,035	12199688,628	132,116	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,367	12200429,026	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,683	12199522,222	31,143	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,345	12198093,818	27,921	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,905	12196052,510	28,782	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,277	12203273,786	27,703	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,352	12201541,518	29,890	0,005	0,005	0,005
PMAS	-773287,293	12202168,699	27,676	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,601	12201494,730	27,130	0,004	0,005	0,005

Tabel 6. Hasil Perataan 1 titik ikat (CMGL) tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,033	12199688,628	132,116	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,369	12200429,026	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,682	12199522,222	31,143	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,344	12198093,818	27,922	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,905	12196052,510	28,782	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,276	12203273,787	27,703	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,353	12201541,517	29,890	0,005	0,005	0,005
PMAS	-773287,291	12202168,697	27,676	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,602	12201494,732	27,130	0,004	0,005	0,005

Tabel 7. Hasil Perataan 1 titik ikat (CPKL) tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,034	12199688,624	132,116	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,363	12200429,026	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,685	12199522,226	31,150	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,347	12198093,818	27,929	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,902	12196052,507	28,782	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,274	12203273,790	27,702	0,004	0,005	0,005
SMK3	-778662,359	12201541,518	29,888	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,298	12202168,697	27,672	0,004	0,005	0,005
B061	-773826,603	12201494,732	27,128	0,004	0,004	0,005

Tabel 8. Hasil Perataan 1 titik ikat (CSEM) tahun 2018

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,035	12199688,629	132,116	0,004	0,004	0,005
KOP8	-776265,366	12200429,025	27,284	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,684	12199522,222	31,143	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,345	12198093,818	27,921	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,905	12196052,510	28,782	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,274	12203273,787	27,703	0,005	0,005	0,005
SMK3	-778662,364	12201541,516	29,890	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,293	12202168,699	27,676	0,004	0,005	0,005
B061	-773826,603	12201494,731	27,130	0,004	0,004	0,005

Tabel 9. Hasil Perataan 1 titik ikat (CPWD) tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,034	12199688,628	132,101	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,354	12200429,027	27,242	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,687	12199522,213	31,112	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,339	12198093,823	27,882	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,900	12196052,502	28,742	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,271	12203273,788	27,649	0,004	0,005	0,005
SMK3	-778662,361	12201541,529	29,846	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,291	12202168,694	27,616	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,601	12201494,733	27,065	0,004	0,005	0,005

Tabel 10. Hasil Perataan 1 titik ikat (CJPR) tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,035	12199688,628	132,102	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,354	12200429,028	27,240	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,688	12199522,213	31,112	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,334	12198093,826	27,883	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,900	12196052,507	28,741	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,275	12203273,783	27,648	0,004	0,004	0,005
SMK3	-778662,369	12201541,526	29,845	0,004	0,004	0,005
PMAS	-773287,293	12202168,693	27,615	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,608	12201494,736	27,066	0,004	0,005	0,005

Tabel 11. Hasil Perataan 1 titik ikat (CMGL) tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)

T447	-781868,034	12199688,628	132,101	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,354	12200429,028	27,240	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,689	12199522,212	31,113	0,004	0,005	0,005
PRPA	-775029,334	12198093,827	27,884	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,900	12196052,507	28,741	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,273	12203273,787	27,649	0,004	0,005	0,005
SMK3	-778662,360	12201541,529	29,844	0,004	0,005	0,005
PMAS	-773287,299	12202168,692	27,616	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,601	12201494,733	27,065	0,004	0,005	0,005

Tabel 12. Hasil Perataan 1 titik ikat (CPKL) tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,037	12199688,629	132,101	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,353	12200429,028	27,241	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,682	12199522,218	31,120	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,332	12198093,826	27,891	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,892	12196052,509	28,742	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,273	12203273,782	27,648	0,004	0,005	0,005
SMK3	-778662,360	12201541,524	29,844	0,004	0,004	0,005
PMAS	-773287,294	12202168,696	27,612	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,608	12201494,738	27,064	0,004	0,005	0,005

Tabel 13. Hasil Perataan 1 titik ikat (CSEM) tahun 2019

TITIK	TOPOSENTRIK			STANDAR DEVIASI		
	n (m)	e (m)	u (m)	n (m)	e (m)	u (m)
T447	-781868,036	12199688,627	132,101	0,004	0,005	0,005
KOP8	-776265,354	12200429,027	27,241	0,005	0,005	0,005
N259	-777428,687	12199522,219	31,113	0,004	0,004	0,005
PRPA	-775029,334	12198093,822	27,883	0,005	0,005	0,005
K371	-776925,892	12196052,503	28,741	0,005	0,005	0,005
BUGN	-776635,272	12203273,788	27,648	0,004	0,005	0,005
SMK3	-778662,370	12201541,529	29,846	0,004	0,004	0,005
PMAS	-773287,299	12202168,692	27,615	0,005	0,005	0,005
B061	-773826,610	12201494,735	27,065	0,004	0,005	0,005

III.3 Nilai Penurunan Muka Tanah Tahun 2019

Berdasarkan hasil pengolahan dengan GLOBK diperoleh nilai ketinggian pada masing-masing titik pengamatan. Koordinat yang dihasilkan akan menunjukkan nilai ketinggian kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan penelitian sebelumnya sehingga dapat dibandingkan ketinggiannya dan dihitung nilai penurunan muka tanah Kota Semarang. Ketinggian titik pengamatan yang diperoleh dari hasil pengolahan GAMIT, selanjutnya dapat dihitung nilai laju perubahan penurunan muka tanah yang terjadi pada

kurun waktu yang ditentukan dengan menggunakan rumus (1).

$$y = \frac{h_2 - h_1}{(\Delta t : 365)} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

Y : Laju penurunan muka tanah

h_2 : Elevasi tahun akhir

h_1 : Elevasi tahun awal

t_1 : Lama hari pertahun

Δt : Total waktu pengukuran (sesuai DOY)

Tabel 14 Laju Penurunan muka tanah pertahun (2018-2019)

Titik	DOY		H (m)		Laju PMT cm/tahun
	2018	2019	2018	2019	
T447	181	118	132,1165	132,1016	-1,795
KOP8	181	118	27,2839	27,2404	-5,265
N259	181	118	31,1428	31,1128	-3,623
PRPA	181	118	27,9215	27,8831	-4,639
K371	181	118	28,7815	28,7478	-4,075
BUGN	182	119	27,7027	27,6483	-6,576
SMK3	182	119	29,8889	29,8447	-5,346
PMA S	182	119	27,6762	27,6158	-7,307
B061	182	119	27,1296	27,0651	-7,796

Berdasarkan perhitungan laju penurunan muka tanah kota semarang dapat diketahui bahwa titik yang mengalami penurunan tanah yang paling besar yaitu titik PMAS dan B061 sedangkan yang paling kecil nilai laju penurunan muka tanahnya yaitu titik T447.

III.4 Analisis Penurunan dengan Uji Statistik (Uji-T)

Nilai penurunan muka tanah yang didapatkan dari hasil pengamatan harus dilakukan uji untuk memastikan kebenaran hasil perhitungan apakah benar memang terjadi penurunan atau tidak pada tabel IV-29 menunjukkan bahwa hasil Uji-T terdapat penurunan tanah disetiap titik pengamatan.

Tabel 15 Hasil Uji-T

Titik	H (m)		Nilai Pergeseran Pij	std Pij	t	T table 0,95 %	Terdapat penurunan
	2018	2019					
T447	132,116	132,102	-0,01485	0,00497	2,988	1,960	Ya
KOP8	27,284	27,240	-0,04356	0,00499	8,729		Ya
N259	31,143	31,113	-0,02998	0,00496	6,044		Ya
PRPA	27,921	27,883	-0,03838	0,00499	7,691		Ya

K371	28,781	28,748	-0,03372	0,00500	6,744		Ya
BUGN	27,703	27,648	-0,05441	0,00498	10,926		Ya
SMK3	29,889	29,845	-0,04423	0,00499	8,864		Ya
PMA S	27,676	27,616	-0,06046	0,00498	12,141		Ya
B061	27,130	27,065	-0,0645	0,00497	12,978		Ya

IV. Kesimpulan dan Saran

IV.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Besaran nilai laju penurunan muka tanah pada 9 titik pengamatan yang tersebar di Kota Semarang pada tahun 2018-2019 berkisar antara 1,795 – 7,796 cm per tahun. Pada titik T447 di pertigaan kaliwiru memiliki laju penurunan sebesar 1,795 cm/tahun; KOP8 di area stasiun poncol sebesar 5,265 cm/tahun; N259 di tugu muda sebesar 3,623 cm/tahun; PRPA di area PRPP sebesar 4,639 cm/tahun; K371 di area bandara lama Ahmad Yani sebesar 4,862 cm/tahun; BUGN di area SDN bugangan sebesar 6,576 cm/tahun; SMK3 di area wonodri sebesar 5,346 cm/tahun; PMAS sebesar 7,307 cm/tahun dan B061 sebesar 7,796 cm/tahun di area Pelabuhan Tanjung Mas.

IV.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penyempurnaan penelitian yang telah dilakukan dan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pengamatan dan penelitian penurunan muka tanah selanjutnya diharapkan menambah jumlah titik pengamatan agar mendapatkan hasil penurunan muka tanah yang lebih detail.
2. Penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan menggunakan kombinasi teknologi geodesi seperti InSAR, DinSAR, dan gravimetri untuk mendapatkan informasi penurunan yang lebih teliti.

Daftar Pustaka

Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T.P. 2010. *Studying Land Subsidence in Semarang (Indonesia) Using Geodetic Methods*. FIG Congress 2010.

Aduol, F.W.O. 1994. *Robust Geodetic Parameter Estimation under Least Squares through Weighting on the Basis of the Mean Square Error*. www.unistuttgart.de/gi/research/schriftenreihe/quo_vadis/pdf/aduol.pdf

Ahزاب, A.Y., Utama I.G.D.G.B., Rahardiansyah, M., Angelina, M.R., Clarins, S., Nurchaliza, V. 2016. Makalah MPKT-B PBL2. Universitas Indonesia. Jakarta.

Hoffman-Wallenhof, B., H Lichtenegger, and J.Collins (1997). *Global Positioning System, Theory and*

- Practice*. Springer-Verlag.fourth.revised edition. Wien. ISBN
- Kasfari, R. 2018. Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Liu, Q. 1998. *Time-dependent Models of Vertical Crustal Deformation from GPS Leveling Data*. Surveying and Land Information Systems. Journal of the American Congress on Surveying and Mapping, Vol 58, No.1.
- Saputra, R. 2017. Analisis Deformasi Di Wilayah Jawa Timur dengan menggunakan CORS BIG. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- UNOOSA. 2011. 10 years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite Systems. Jurnal UNOOSA, New York.
- Vega, G.F. and S. Yamamoto. 1984. Techniques for prediction of subsidence. *Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal, International Hydrological Programme*, Working Group 8.4, pp.89-116, the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris.
- Whitaker, B.N. dan Reddish. (1989). *Subsidence Occurrence, Prediction, and Control*. Elsevier Science Publishing Company INC, Belanda
- Wirawan, A.R., 2019. Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Metode Survei GNSS Tahun 2018. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro. Semarang.
- Yuwono, B.D., Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Awaluddin, M., Najib. 2016. *Development of Static Differential Method GNSS CORS UNDIP For Monitoring Land Subsidence in Semarang Demak*. In International Conference on energy, Environment and Information (ICENIS 2016). Volume 23, issue 3, march 217, pages 2207-2210