

## PENGAMATAN PENURUNAN MUKA TANAH KOTA SEMARANG METODE SURVEI GNSS TAHUN 2018

Adzindani Reza Wirawan<sup>\*)</sup>, Bambang Darmo Yuwono, L. M. Sabri

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

### ABSTRAK

Penurunan muka tanah atau land subsidence merupakan fenomena perubahan ketinggian muka tanah yang berlangsung dalam kurun waktu singkat atau lama yang persebarannya tidak merata di setiap lokasi. Penelitian penurunan muka tanah di Kota Semarang telah dilakukan secara berkelanjutan karena masih terjadi penurunan yang signifikan. Berdasarkan penelitian terdahulu, besarnya penurunan muka tanah di Kota Semarang bervariasi pada tiap tahunnya dan berbeda di setiap lokasi penelitian sehingga titik pengamatan harus tersebar merata di Kota Semarang. Pengamatan penurunan muka tanah pada penelitian tugas akhir ini menggunakan pengamatan GNSS metode statik selama  $\pm 6$  jam di 9 titik yang terdiri dari 8 titik pengamatan dan titik ikat. Penelitian ini juga didukung dengan data pengamatan titik yang sama pada tahun 2013, 2015, 2016 dan 2017. Data pengamatan diolah menggunakan software scientific GAMIT 10.7 yang diikatkan dengan titik ikat IGS sebagai titik ikat global dan titik TTG447 sebagai titik ikat lokal. Koordinat hasil pengolahan kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang akan didapatkan perubahan ketinggian titik pengamatan. Nilai laju penurunan muka tanah pada titik SMK3 sebesar 2,95269 cm/tahun; titik N259 sebesar 4,59026 cm/tahun; titik K371 sebesar 0,40994 cm/tahun dan titik KOP8 sebesar 6,17139 cm/tahun. Hasil analisa laju penurunan muka tanah menyatakan bahwa adanya korelasi yang signifikan antara penurunan muka tanah dengan pengambilan air tanah di Kota Semarang.

**Kata Kunci :** GAMIT, IGS, Kota Semarang, Penurunan Muka Tanah, Survei GNSS

### ABSTRACT

*Land subsidence is a phenomenon of changes in ground level that takes place in a short or long period of time which is not evenly distributed in each location. Research on land subsidence in Semarang City has been carried out continuously because there is still a significant decline. Based on previous research, the magnitude of land subsidence in Semarang City varies from year to year and differs in each study location so that the observation points must be spread evenly in the city of Semarang. Observation of land subsidence in this final project research uses observing GNSS static method for  $\pm 6$  hours in 9 points, consisting of 8 observation points and 1 control points. This research was also supported by the same point observation data in 2013, 2015, 2016 and 2017. Observation data was processed using GAMIT 10.7 scientific software tied to the IGS as a global control point and TTG447 point as a local control point. The coordinates of the processing results are then compared with the results of previous studies which will obtain changes in the height of the observation point. The rate of subsidence at the SMK3 point is 2.95269 cm / year; point N259 of 4,59026 cm / year; point K371 is 0.40994 cm / year and KOP8 is 6.17139 cm / year. The results of the analysis of land subsidence rate indicate that there is a significant correlation between land subsidence and groundwater extraction in the city of Semarang.*

**Key Word :** GAMIT, IGS, Semarang City, Land Subsidence, GNSS Survey

<sup>\*)</sup>Penulis Utama, Penanggung Jawab

**I. Pendahuluan**

**I.1 Latar Belakang**

Penurunan muka tanah atau land subsidence merupakan fenomena perubahan ketinggian muka tanah yang berlangsung dalam kurun waktu singkat atau lama yang persebarannya tidak merata di setiap lokasi (Ahzab dkk, 2016). Penurunan muka tanah telah lama terjadi di Kota Semarang dan telah banyak dilakukan penelitian mengenai fenomena ini. Kota Semarang telah mengalami fenomena ini lebih dari 100 tahun yang lalu. Terbukti dengan terjadinya perluasan wilayah pesisir, retakan bangunan infrastruktur dan peningkatan intrusi air pedalaman di area terdampak bencana. (Abidin, H.Z dkk, 2010). Bukti lain akibat terdampaknya penurunan muka tanah adalah dengan dilakukannya peninggian badan jalan yang diikuti dengan peninggian bagian lantai rumah yang berada di sekitaran jalan yang jika dilakukan terus menerus maka lama kelamaan jarak antara lantai dengan atap rumah semakin memendek.

Pengamatan penurunan muka tanah dapat dilakukan dengan banyak metode pengamatan, salah satunya adalah dengan survei GNSS. Nilai dari penurunan muka tanah didapatkan dari pengamatan yang dilakukan dengan membandingkan perubahan ketinggian titik pengamatan dalam kurun waktu tertentu.

Kota Semarang yang merupakan ibukota dari Provinsi Jawa Tengah tidak hanya menjadi pusat pemerintahan, namun juga menjadi pusat perekonomian dan pembangunan di wilayah Jawa Tengah. Pada penelitian penelitian terdahulu yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa masih terjadi penurunan muka tanah yang signifikan di Kota Semarang, sehingga penelitian mengenai penurunan muka tanah di Kota Semarang harus terus dilakukan guna melakukan tindakan pencegahan bencana yang dapat terjadi kedepannya.

Pada Penelitian sebelumnya oleh Khoirunisa (2015), dilakukan penelitian penurunan muka tanah Kota Semarang dengan metode GNSS di tujuh titik pengukuran yang tersebar di sebagian wilayah Kota Semarang. Dari penelitian yang diamati, terjadi penurunan tanah di wilayah Kota Semarang yang bervariasi antara 1.66 – 28.78 cm untung rentang 2013 - 2015.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Kasfari (2017) dengan 6 titik pengamatan yang sama dengan penelitian sebelumnya dan dengan metode pengukuran yang sama. Dari hasil pengamatan tersebut didapatkan nilai penurunan muka tanah Kota Semarang yang bervariasi antara 2,18 - 21,33 cm dalam kurun waktu 2013 – 2017.

Dikarenakan masih terjadi penurunan tanah yang signifikan di Kota Semarang dari tahun ke tahun, maka perlu dilakukan penelitian penurunan muka tanah untuk mendapatkan nilai vektor penurunan tanah di tahun 2018.

**I.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Berapa nilai laju penurunan muka tanah di titik-titik pengamatan pada tahun 2017 - 2018?
2. Berapa nilai laju penurunan muka tanah Kota Semarang dalam periode 2013 -2018?
3. Bagaimana pengaruh kepadatan penduduk, tata guna lahan dan penggunaan air tanah terhadap penurunan muka tanah Kota Semarang ?

**I.3 Maksud dan Tujuan**

Adapun maksud dan tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besaran nilai penurunan muka tanah Kota Semarang tahun 2017 - 2018.
2. Mengetahui nilai laju penurunan muka tanah Kota Semarang periode 2013-2018.
3. Mengetahui hubungan antara kepadatan penduduk, tata guna lahan dan penggunaan air tanah terhadap penurunan muka tanah Kota Semarang.

**I.4 Batasan Masalah**

Adapun ruang lingkup penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Lokasi penelitian ini dilakukan Kota Semarang dengan titik amat N259, KOP8, K371, SMK3, BUGN, B061, PRPA dan PMAS dengan titik ikat lokal TTG447 ditambah dengan titik ikat global pada IGS BAKO, COCO, CUSV, DARW, GUAM, GUUG, KAT1, PERT, PIMO, PNGM, TOW2, XMIS.
2. Pengamatan dilakukan menggunakan GPS *dual frequency* metode statik.
3. Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan tahun 2018 serta data penelitian sebelumnya pada tahun 2013, 2015, 2016 dan 2017
4. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.7
5. Penelitian ini berfokus pada perubahan nilai vertikal yang terjadi pada titik – titik pengamatan di wilayah Kota Semarang.
6. Pengaruh pergerakan rotasi blok sunda diabaikan.
7. Analisis korelasi spasial laju penurunan tanah dengan kepadatan penduduk menggunakan pendekatan batas administrasi
8. Penentuan sampel analisis korelasi spasial laju penurunan tanah dengan pengambilan air tanah menggunakan prinsip jarak terdekat

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian tugas akhir ini merupakan penelitian lanjutan dari empat penelitian sebelumnya yang dilakukan pada lokasi pengamatan yang sama dimulai taun 2013 oleh Aldika Kurniawan dengan judul “Analisis Penurunan Muka Tanah Daerah Semarang Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.04 Kurun Waktu 2008-2013”. Dari penelitian tersebut diambil kesimpulan bahwa telah terjadi penurunan muka tanah

di Kota Semarang dengan variasi penurunan antara 1,1146 cm/tahun - 10,428 cm /tahun antara tahun 2008 – 2013 dengan tren penurunan muka tanah paling besar terjadi di wilayah Semarang Utara dan semakin kecil ke arah selatan Kota Semarang.

Penelitian kedua dilakukan oleh Risty Khoirunisa (2015) dengan judul penelitian “Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2015 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.5”. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa terjadi penurunan muka tanah di Kota Semarang bervariasi antara 0,83 – 13,935 cm dalam kurun waktu 2013-2015 dan dari hasil analisis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan banyak bangunan memiliki penurunan muka tanah lebih besar dibandingkan daerah lainnya.

Penelitian ketiga dilakukan oleh Alfian Budi (2016) dengan judul penelitian “Pemantauan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2016 Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.6” menyatakan bahwa laju penurunan tanah tahun 2013 – 2016 berada pada rentang 2,07 – 17,04 cm/tahun dan pada sektor pemukiman terjadi kerugian Rp. 545,985 miliar serta kerugian sebesar Rp 70,466 miliar pada sektor infrastruktur jalan akibat banjir rob yang terjadi di Kota Semarang.

Penelitian keempat dilakukan oleh Roy Kasfari (2017) dengan judul “Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017” yang menyatakan bahwa Terjadi penurunan muka tanah kota semarang yang bervariasi antara 2,18 – 21,33 cm dalam kurun waktu 2013-2017 dan laju penurunan muka tanah akan tetap menurun tiap tahunnya sesuai dengan faktor penyebab yang paling dominan pada setiap lokasi terkait.

**II.2 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).

Menurut Whittaker and Reddish, 1989 dalam Kurniawan, 2013 menyatakan bahwa penurunan tanah secara alami dapat digolongkan menjadi :

1. Penurunan muka tanah alami atau natural subsidence yang disebabkan oleh faktor alam seperti aktifitas vulkanik atau tektonik, siklus geologi ataupun adanya rongga dibawah permukaan tanah.
2. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air atau minyak atau sering disebut groundwater extraction.
3. Penurunan muka tanah akibat beban (settlement) di atas bumi seperti pembebanan oleh struktur bangunan yang menyebabkan

lapisan tanah dibawahnya mengalami kopaksi atau konsolidasi.

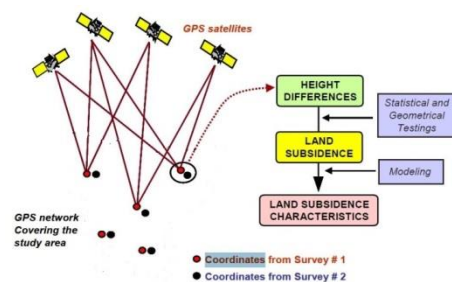
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari dalam bumi seperti aktifitas penambangan.
5. Sedimentasi daerah cekungan (sedimentary basin).
6. Rongga dibawah tanah yang menyebabkan runtuhnya atap rongga yang membentuk sebuah lubang yg disebut sink hole.

**II.3 GNSS**

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam bentuk frekuensi secara terus menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. GNSS memiliki peranan penting dalam bidang navigasi. GNSS yang ada saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*) milik Amerika Serikat, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) milik Rusia, GALILEO milik Uni Eropa, dan COMPASS atau Bei-Dou milik China. India dan Jepang telah mengembagkan kemampuan GNSS regional dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan regional (UNOOSA, 2011).

**II.4 Survei GNSS untuk Penentuan Penurunan Muka Tanah**

Konsep dari pengamatan penurunan muka tanah dengan metode survei GNSS adalah dengan melakukan pengamatan pada titik titik yang telah di sebar dia area yang akan diamati, kemudian dilakukan pengamatan dengan GNSS selama selang waktu yang telah ditentukan, secara periodik dan berkelanjutan untuk menentukan koordinatnya secara teliti. Pengamatan yang dilakukan akan menghasilkan koordinat yang berbeda dari waktu ke waktu sehingga dapat dihitung dan dipelajari pola dan kecepatan perubahan koordinat titik pengamatan tersebut.



**Gambar 1.** Prinsip pegamatan penurunan muka tanah metode survei GNSS (Abidin, 2007)

Studi pengamatan penurunan muka tanah menggunakan metode survei GNSS memiliki beberapa kelebihan yaitu : (Pribadi, 2014)

- a. Survei GNSS memberikan vektor pergerakan tiga dimensi, yaitu dua dimensi

horizontal dan satu dimensi vertikal sehingga didapatkan nilai penurunan muka tanah serta pergerakan tanah secara horizontal.

- b. Survei GNSS memberikan nilai vektor pergerakan dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal. Sehingga dapat memantau pergerakan suatu wilayah regional secara efektif dan efisien.
- c. Survei GNSS dapat dilakukan tanpa tergantung oleh waktu dan cuaca, dikarenakan alat ukur (receiver GNSS) dapat digunakan baik siang ataupun malam serta tahan terhadap air (*water resist*).

**II.5 IGS**

IGS terbentuk dari jaringan stasiun GPS permanen global, pusat data dan analisis, kantor pusat dan pengaturan. Jaringan IGS terdiri dari sekitar 200 stasiun dengan receiver GPS *dual-frequency* yang beroperasi secara kontinu. Jaringan IGS digunakan untuk merealisasikan ITRF, dimana semua pengamatan GPS dapat dihubungkan. Selain itu, IGS juga menyediakan berbagai macam data diantaranya adalah data satelit *ephemeris*, parameter rotasi bumi, parameter atmosfer dan data pengamatan GPS dari stasiun IGS. Data Semuanya digunakan untuk kepentingan penelitian ilmiah dan kebutuhan penggunaan GPS secara komersial. (Kasfari, 2017)

**II.6 Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK**

GAMIT dan GLOBK merupakan perangkat lunak berbasis UNIX/LINUX yang bersifat ilmiah dan bersifat *open source* atau gratis. GAMIT/GLOBK adalah sebuah paket *software* komprehensif untuk analisis data GPS yang dikembangkan oleh MIT, *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA) 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.

GAMIT adalah singkatan dari *GPS Analysis Massachuset Institute of Technology*, sedangkan GLOBK adalah singkatan dari *Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*. *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*. *File H* digunakan untuk proses selanjutnya yaitu pengolahan dengan perangkat lunak GLOBK. *File H* hasil pengolahan dengan GAMIT dan *file H* global hasil *download* dari internet (*IGS H-files*) selanjutnya diolah dengan GLOBK. Hasil akhir pengolahan dengan GLOBK berupa *file \*.prt* yang merupakan perhitungan akhir terhadap koordinat dan ketelitian tiap stasiun, panjang *baseline*, ketelitian dan matrik *baseline*-nya.

**II.7 Analisis Korelasi Dua Variabel**

Analisis korelasi merupakan suatu perhitungan stasistik yang digunakan untuk mengitung kekuatan hubungan 2 variabel agar dapat diketahui apakah hubungan antara 2 variabel termasuk erat, lemah atau tidak erat serta apakah bentuk korelasine linear positif atau linear negatif. (Rai Utama, 2016)

Koefisien korelasi sederhana atau disebut dengan korelasi pearson dapat dihitung dengan menggunakan rumus hubungan 2 variabel seperti pada **Rumus 1**.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{n\sum x^2 - (\sum x)^2\}\{n\sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

Dimana :

- n = Banyaknya Pasangan data X dan Y
- Σx = Total Jumlah dari Variabel X
- Σy = Total Jumlah dari Variabel Y
- Σx<sup>2</sup> = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel X
- Σy<sup>2</sup> = Kuadrat dari Total Jumlah Variabel Y
- Σxy = Hasil Perkalian dari Total Jumlah Variabel X dan Variabel Y

Hasil perhitungan korelasi dua variabel akan menghasilkan suatu nilai korelasi antara -1 hingga +1. Nilai korelasi yang mendekati atau sama dengan +1 menunjukkan adanya hubungan linier positif antara dua variabel, semakin mendekati 0 maka hubungan antara dua variabel semakin rendah, sedangkan nilai korelasi yang bernilai negatif menunjukkan hubungan linier yang saling berbalikan antara dua variabel. Hubungan antara dua variabel jika dibagi menjadi beberapa kelas dapat dilihat pada **Tabel 1** (Sugiyono, 2013).

**Tabel 1.** Kelas Tingkat Hubungan Dua Variabel

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

**III. Metodologi Penelitian**

**III.1 Lokasi Penelitian**

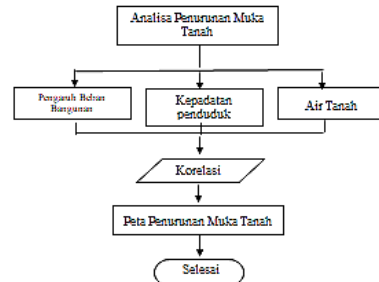
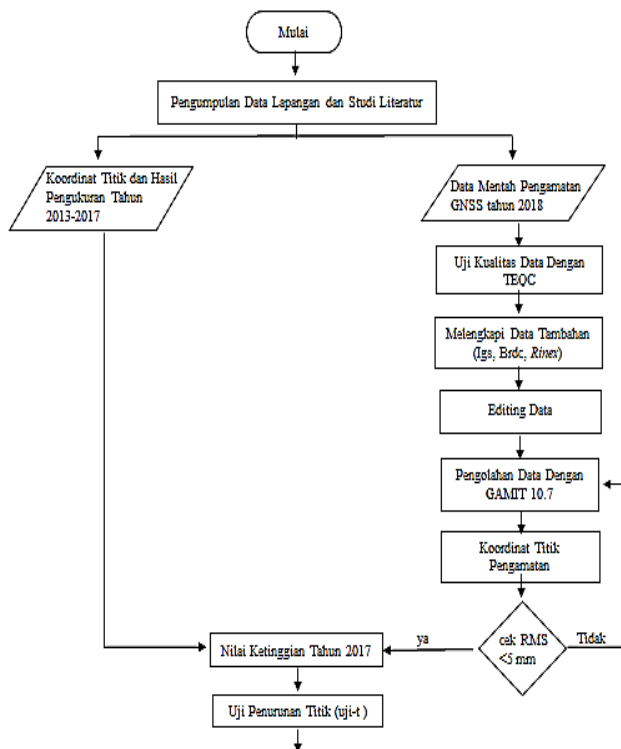
Penelitian dilaksanakan di Kota Semarang, dilakukan pengukuran dan pengamatan yang tersebar di 9 (sembilan) titik yang terdiri dari 8 titik amat dan 1 titik ikat. Pengamatan dilakukan dalam waktu  $\pm 6$  jam untuk tiap titiknya pada waktu yang bersamaan. Sebaran titik pengamatan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Sebaran Titik Pengamatan GNSS Penurunan Muka Tanah Kota Semarang

**III.2 Diagram Alir**

Secara garis besar pelaksanaan penelitian dapat digambarkan dalam diagram alir seperti pada **gambar 3**



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian

**III.3 Peralatan Penelitian**

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

**III.3.1 Alat**

1. 5 set receiver GNSS Geodetic dual frequency yang digunakan untuk proses akuisisi data. Receiver GNSS yang digunakan bermerek Topcon diantaranya :
  - a. GPS Topcon Hiper II
  - b. GPS Topcon Hiper Gb base dan rover
  - c. GPS Topcon Hiper SR base dan rover
2. Perangkat Komputer dengan Spesifikasi
  - a. Merek Laptop : SONY VAIO SVF14212SGB
  - b. Sistem operasi : Windows 10 Pro 64-bit, LINUX Ubuntu
  - c. Processor : Intel® Core™ i3-3217U (1.8 Ghz)
  - d. RAM : 6 GB DDR3
  - e. HDD : 500 GB HDD
3. Perangkat Lunak :
  - a. GAMIT 10.7
  - b. TEQC
  - c. Microsoft Office 2013
  - d. ArcGIS 10.4

**III.3.2 Bahan**

Bahan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini dilakukan Kota Semarang dengan titik amat N259, KOP8, K371, SMK3, BUGN, B061, PRPA dan PMAS dengan titik ikat lokal TTG447 ditambah dengan titik ikat global pada IGS BAKO, COCO, CUSV, DARW, GUAM, GUUG, KAT1, PERT, PIMO, PNGM, TOW2, XMIS.
2. Pengamatan dilakukan menggunakan GPS dual frequency metode statik.
3. Data pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan tahun 2018 serta data penelitian sebelumnya pada tahun 2013, 2015, 2016 dan 2017

4. Pengolahan data pengamatan GPS menggunakan *Scientific Software* GAMIT 10.7
5. Penelitian ini berfokus pada perubahan nilai vertikal yang terjadi pada titik – titik pengamatan di wilayah Kota Semarang.
6. Pengaruh pergerakan rotasi blok sunda diabaikan.
7. Analisis korelasi laju penurunan tanah dengan kepadatan penduduk menggunakan pendekatan batas administrasi
8. Penentuan sampel analisis korelasi laju penurunan tanah dengan pengambilan air tanah menggunakan prinsip jarak terdekat

**III.4 Pengolahan Data**

Dalam pengolahan data penelitian ini terdapat beberapa tahapan yaitu

1. Pemeriksaan Kualitas Data dengan TEQC. Sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan *software* GAMIT, data pengamatan diperiksa terlebih dahulu kualitas datanya menggunakan *software* TEQC. Proses ini dilakukan untuk mengetahui waktu mulai dan berakhirnya sebuah pengamatan, nilai *multipath* yang terjadi, interval perekaman, total satelit serta informasi lainnya.
2. Pengolahan Data Pengamatan dengan GAMIT dan GLOBK
3. Mempersiapkan direktori kerja data pengamatan yang akan diolah dengan membuat folder *project* beserta bagian-bagiannya .
4. Melakukan editing data pada beberapa file yang ada di dalam folder tables antara lain *lfile*, *sittbl*, *sestbl*, *station.info* dan *sites.default*.
5. Pengolahan data pengamatan dengan menggunakan *software* GAMIT yang hasilnya berupa file Q, file H dan file L.
6. Pengolahan data dengan GLOBK dapat dilakukan dengan perintah *glorg.cmd* dan *globk.cmd*. Hasil akhir pengolahan dengan GLOBK berupa file \*.prt yang merupakan perhitungan akhir terhadap koordinat dan ketelitian tiap stasiun, panjang *baseline*, ketelitian dan matrik *baseline*-nya

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1 Hasil Pemeriksaan dengan TEQC**

Hasil pemeriksaan data pengamatan dengan *software* TEQC berupa nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L1 (MP1) dan nilai *moving average* dari *multipath* untuk sinyal L2 (MP2). Hasil pemeriksaan kualitas data pada TEQC dapat dilihat pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Nilai Moving Average Data Pengamatan GNSS

Titik	Moving Average		Alat ukur	DOY
	MP12 (m)	MP21 (m)		
KOP8	1.285398	1.404393	HIPER GB	181
PRPA	1.187195	1.545723	HIPER GB	181
K371	0.809496	0.855844	HIPER II	181
N259	0.336241	0.341595	HIPER SR	181
B061	0.596613	0.587399	HIPER GB	182
SMK3	1.117165	1.232295	HIPER GB	182
PMAS	0.570522	0.547277	HIPER II	182
BUGN	0.824633	0.946200	HIPER SR	182

Hasil pemeriksaan kualitas data pengamatan menggunakan TEQC pada titik pengamatan penurunan muka tanah tahun 2018 pada **Tabel 2** diketahui memiliki nilai lebih dari standar yaitu 0,5 meter. Besarnya nilai *multipath* dipengaruhi oleh kepadatan obstruksi pada titik pengamatan GNSS. Akan tetapi pada pengolahan selanjutnya dengan menggunakan *software* GAMIT terdapat parameter estimasi orbit satelit yang dapat digunakan untuk mengkoreksi data rinex titik pengamatan, sehingga kesalahan akibat efek *multipath* dapat dikurangi.

**IV.2 Hasil Pengolahan dengan GAMIT/GLOBK**

Pada pengolahan GAMIT akan menghasilkan beberapa file baru dari hasil pengolahan data. File hasil dari pengolahan yaitu *h-files*, *q-files* dan *sh\_gamit.summary*. *H-files* merupakan file yang memuat nilai *adjustment* dan matriks varian-kovarian yang digunakan sebagai input dalam pengolahan GLOBK. *Q-files* memuat hasil analisis program *solve* yang berisi hasil evaluasi dari pengolahan data. File ini untuk mengetahui nilai *fract*. Untuk dapat diterima dan dilakukan proses perhitungan menggunakan GLOBK, nilai *fract* harus kurang dari 10. *Summary file* memuat informasi nilai *postfit* nrms dan nilai *prefit* nrms. Nilai *postfit* nrms yang lebih dari 0,5 menandakan bahwa masih ada data yang mengandung *cycle slips*. Nilai *postfit* tidak memiliki satuan, seperti pada **Tabel 3**.

Hasil pengolahan GLOBK berupa koordinat kartesian tiga dimensi, toposentrik global, dan geodetis. Koordinat hasil pengolahan dari GLOBK dapat dilihat pada **Tabel 4 – Tabel 6**.

**Tabel 3.** Hasil Summary file data pengamatan GNSS

No	Tahun/DOY	Titik	Nilai nrms		Ambiguitas Phase Fixed (%)	
			Prefit	Postfit	WL Fixed	NL Fixed
1	2018/181	KOP8	0.13490	0.18452	96.4	86.4
2	2018/181	PRPA	0.13897	0.18643	94.4	89.9
3	2018/181	K371	0.13647	0.18451	96.9	87.4
4	2018/181	N259	0.13615	0.18538	95.8	90.5
5	2018/182	B061	0.15461	0.18528	96.1	93
6	2018/182	SMK3	0.15310	0.18516	96.6	92.2
7	2018/182	PMAS	0.15164	0.18470	97.8	92.5
8	2018/182	BUGN	0.15179	0.18289	95	88.9

**Tabel 4.** Koordinat Kartesian Hasil Pengolahan GLOBK

Titik	Koordinat			Standar Deviasi		
	X	Y	Z	X	Y	Z
SMK3	-2209972.58866	5932764.72525	-771571.84811	0.00449	0.00493	0.00434
N259	-2207852.12999	5933714.54519	-770355.48328	0.00401	0.00475	0.00360
K371	-2204480.11302	5935030.48327	-769859.43358	0.00498	0.00499	0.00489
KOP8	-2208469.75646	5933630.48392	-769207.87867	0.00494	0.00497	0.00476
PRPA	-2206053.59634	5934688.78219	-767989.07590	0.00471	0.00494	0.00469
PMAS	-2209597.22907	5933593.68786	-766271.14427	0.00467	0.00492	0.00444
BUGN	-2211190.23844	5932569.96506	-769572.68597	0.00476	0.00493	0.00456
B061	-2209012.43825	5933741.66977	-766802.91913	0.00386	0.00471	0.00331

**Tabel 5.** Koordinat Toposentris Hasil Pengolahan GLOBK

Titik	Koordinat			Standar Deviasi		
	n	e	u	n	e	u
SMK3	-778662.43578	12201541.67542	29.74454	0.00433	0.00444	0.00498
N259	-777428.74934	12199522.39311	30.95175	0.00358	0.00384	0.00491
K371	-776925.98424	12196052.74202	28.67081	0.00489	0.00498	0.00500
KOP8	-776265.43539	12200429.20112	27.13704	0.00476	0.00493	0.00498
PRPA	-775029.40126	12198093.98148	27.75317	0.00468	0.00468	0.00499
PMAS	-773287.36567	12202168.89413	27.52100	0.00444	0.00461	0.00498
BUGN	-776635.34058	12203273.96064	27.48333	0.00455	0.00472	0.00498
B061	-773826.6725	12201494.89857	26.96704	0.00328	0.00369	0.00486

**Tabel 6.** Koordinat Geodetis Hasil Pengolahan GLOBK

Titik	Koordinat Geodetik		
	Lintang	Bujur	Tinggi
SMK3	-6.9948437	110.4305127	29.7445478
N259	-6.9837613	110.4095295	30.9517515
K371	-6.9792449	110.3767764	28.6708084
KOP8	-6.9733111	110.4150332	27.1370374
PRPA	-6.9622076	110.3912011	27.7531644
PMAS	-6.9465586	110.4247112	27.5209937
BUGN	-6.9766340	110.4414541	27.4833300
B061	-6.9514033	110.4192847	26.9670355

**IV.3 Nilai Penurunan Muka Tanah**

Penurunan muka tanah Kota Semarang dengan metode survei GNSS yang dapat dihitung pada tahun 2018 hanya pada empat titik pengamatan yaitu titik SMK3, N259, K371 dan KOP8 dikarenakan titik amat SP05 dan CTRM yang hilang diakibatkan oleh pelebaran jalan. Namun dilakukan pengamatan pada empat titik baru yaitu PRPA, PMAS, BUGN dan B061 yang dapat digunakan untuk kebutuhan penelitian selanjutnya.

Nilai penurunan muka tanah yang diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan selisih perbedaan antar tahun dapat dilihat pada **Tabel 7 – Tabel 10**.

**Tabel 7.** Laju Penurunan Muka Tanah Pertahun (2013-2015)

Titik	DOY		H(m)	H(m)	Laju PMT
	2013	2015	2013	2015	cm/tahun
N259	178	105	31,1291	31,1046	2,72
SP05	178	104	30,3983	30,3529	5,05
K371	181	101	28,8561	28,8395	1,86
SMK3	181	107	29,8661	29,8213	4,99
CTRM	181	107	28,1219	27,8432	31,01
KOP8	180	106	28,0421	27,8721	18,92

**Tabel 8.** Laju Penurunan Muka Tanah Pertahun (2015-2016)

Titik	DOY		H(m)	H(m)	Laju PMT
	2015	2016	2015	2016	cm/tahun
N259	105	140	31,1046	31,0727	2,91
SP05	104	140	30,3529	30,3396	1,21
K371	101	141	28,8395	28,7503	8,04
SMK3	107	140	29,8213	29,7969	2,24
CTRM	107	143	27,8432	27,8369	5,73
KOP8	106	143	27,8721	27,5223	31,76

**Tabel 9.** Laju Penurunan Muka Tanah Pertahun (2016-2017)

Titik	DOY		H(m)	H(m)	Laju PMT
	2016	2017	2016	2017	cm/tahun
N259	140	145	31,0727	30,9802	9,10
SP05	140	145	30,3396	30,2499	8,82
K371	141	148	28,7503	28,6137	13,37
SMK3	140	145	29,7969	29,7812	1,54
CTRM	143	148	27,8369	27,7047	13,01
KOP8	143	155	27,5223	27,1865	32,43

**Tabel 10.** Laju Penurunan Muka Tanah Pertahun (2017-2018)

Titik	DOY		H(m)	H(m)	Laju PMT
	2017	2018	2017	2018	cm/tahun
SMK3	145	182	29.74202	29.77454	2.95269
N259	145	181	31.00218	30.95175	4.59026
K371	148	181	28.67528	28.67081	0.40994
KOP8	155	181	27.20315	27.13704	6.17139

**Tabel 11.** Laju Penurunan Muka Tanah Pertahun (2013-2018)

Titik	Tinggi (m)					DOY		Laju Penurunan Muka Tanah (cm / 5 tahun)
	2013	2015	2016	2017	2018	2013	2018	
SMK3	29.8661	29.8213	29.7969	29.74202	29.77454	178	182	1.8272
N259	31.1291	31.1046	31.0727	31.00218	30.95175	181	181	3.5470
K371	28.8561	28.8395	28.7503	28.67528	28.67081	178	181	3.6997
KOP8	28.0421	27.8721	27.5223	27.20315	27.13704	181	181	18.1012

**Tabel 11** menunjukkan bahwa titik KOP8 mengalami laju penurunan tertinggi selama 5 tahun yaitu sebesar 18,1 cm/ 5 tahun (terhitung mulai tahun 2013 – 2018), sedangkan laju penurunan terendah berada pada titik SMK3 yang mengalami penurunan sebesar 1,82 cm/ 5 tahun.

**IV.4 Analisis Penurunan dengan Uji-T**

Nilai penurunan muka tanah Kota Semarang yang didapat dari hasil pengamatan diharuskan melalui suatu uji untuk memastikan kebenaran hasil perhitungan, apakah memang benar terjadi penurunan atau tidak Uji yang dilakukan untuk penelitian ini adalah uji statistik (Uji – T). Uji – T dilakukan dengan membandingkan variabel penurunan pada tiap titik yang telah diamati pada tahun 2017 dan 2018 dengan Rumus 1 dan 2 (Sugiyono, 2006) :

$$t = \frac{P_{ij}}{std P_{ij}} \dots \dots \dots (2)$$

Penurunan dinyatakan signifikan atau hipotesa nol ditolak jika :

$$t > d_{df, \alpha/2} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- t = Besaran yang menunjukkan signifikansi penurunan
- $P_{ij}$  = Penurunan titik Pengamatan
- $S_{td}$  = Standar deviasi Pij
- df = derajat kebebasan
- $\alpha$  = level signifikan yang digunakan

Hasil Uji-T dapat dilihat pada Tabel 12 berikut :

**Tabel 12.** Uji-T titik pengamatan penurunan muka tanah tahun 2017-2018

Titik	Tinggi "H" (m)		Nilai Pergeseran (Pij)	Std Pij	t	t tabel 95%	Terdapat Penurunan
	2017	2018					
SMK3	29.74202	29.77454	0.03252	0.00498	6.53012	1,960	Ya
N259	31.00218	30.95175	-0.05043	0.00491	10.27088		Ya
K371	28.67528	28.67081	-0.00447	0.00500	0.89400		Tidak
KOP8	27.20315	27.13704	-0.06611	0.00498	13.27510		Ya

Hasil Uji-T menyatakan bahwa hasil perhitungan penurunan pada titik pengamatan K371 bergerak namun secara statistik dinyatakan tidak bergerak.

**IV.5 Analisis Hubungan Penurunan Muka Tanah dengan Tata Guna Lahan**

Dalam penelitian ini, perlu diketahui apakah terdapat hubungan antara laju penurunan muka tanah dengan tata guna lahan. Dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi dan analisis *buffer* dengan jari jari 500 meter, tata guna lahan didigitasi sesuai dengan kegunaannya. Digitasi difokuskan pada pemukiman atau bangunan karena merupakan hal yang berpengaruh pada laju penurunan tanah dibandingkan dengan kegunaan tata guna lahan yang lain seperti vegetasi ataupun yang hanya sekedar lahan kosong.

Nilai *coverage* atau cakupan pemukiman dan bangunan pada area *buffer* dapat dilihat pada Tabel 13

**Tabel 13.** Nilai Luas cakupan lahan terbangun

Titik	Luas Area Buffer (m <sup>2</sup> )	Luas Pemukiman/ Bangunan (m <sup>2</sup> )	Coverage (%)	Laju PMT cm/tahun
SMK3	785191,1732	619465.2042	78.89	2,95269
N259	785191,1732	662419.9998	84.36	4,59026
K371	785191,1732	276178.2668	35.17	0,40994
KOP8	785191,1732	661446.6112	84.24	6,17139



**Gambar 4.** Grafik Korelasi Lahan Terbangundengan Laju Penurunan Muka tanah

Pada analisis perbandingan hubungan antara laju penurunan muka tanah dengan tutupan lahan terbangun terlihat bahwa penurunan terbesar terjadi pada titik dengan kepadatan tertinggi yaitu KOP8 dengan presentase lahan terbangun sebesar 84,24 % dan pada titik SMK3 mengalami laju penurunan terkecil dengan presentase tutupan lahan sebesar 78,89%. Hal ini menunjukkan bahwa adanya korelasi antara laju penurunan muka tanah dengan beban bangunan atau lahan terbangun di Kota Semarang. Nilai Korelasi antara laju penurunan tanah dengan lahan terbangun adalah 0,3 yang tergolong pada korelasi rendah (Sugiyono, 2013:248).

**IV.6 Analisis Hubungan Penurunan Muka Tanah dengan Kepadatan Penduduk**

Kota Semarang yang merupakan kota metropolitan memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Kepadatan penduduk menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan muka tanah menurut Whittaker dan Reddish. Analisis korelasi laju penurunan muka tanah dengan kepadatan penduduk pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 14 dan Tabel 15.

**Tabel 14.** Sebaran Kecamatan dan Titik Pengamatan Penurunan Muka Tanah

Titik	SMK3	N259	K371	KOP8
Kecamatan	Semarang Selatan	Semarang Tengah	Semarang Barat	Semarang Utara

Data kepadatan penduduk disetiap kecamatan pada tiap tahunnya dibandingkan dengan laju penurunan muka tanah tiap tahun pada titik tersebut dan dihasilkan nilai korelasi seperti pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Nilai Korelasi Laju Penurunan Muka Tanah dengan Jumlah Penduduk

Titik	SMK3	N259	K371	KOP8
Nilai Korelasi	-0.33024	0.206569	-0.31346	-0.6488

Tabel 15 menunjukkan bahwa diantara 4 titik pengamatan, terdapat 3 lokasi yang memiliki korelasi negatif atau korelasi terbalik yang menunjukkan hubungan yang saling berbalikan namun yang tergolong pada korelasi rendah pada titik SMK3 dan K371 dan



pada titik KOP8 memiliki korelasi negatif yang tergolong pada korelasi kuat. Korelasi positif terjadi pada titik N259 yang menunjukkan adanya hubungan antara laju penurunan muka tanah dengan jumlah penduduk namun tergolong korelasi rendah.

**IV.7 Analisis Hubungan Penurunan Muka Tanah dengan Pengambilan Air Tanah**

Eksplorasi air tanah merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan muka tanah pada suatu wilayah. Dari data Badan Pendapatan Daerah (BAPENDA) Kota Semarang, penggunaan terbesar air tanah didominasi oleh industri atau perusahaan-perusahaan yang tersebar di Kota Semarang. Daftar sampel perusahaan pengguna air tanah di Kota Semarang dapat dilihat pada **Tabel 16** dan jumlah pengambilan air tanah (m<sup>3</sup>) dapat dilihat pada **Tabel 17**.

**Tabel 16.** Sampel perusahaan pengguna air tanah terdekat dengan titik pengamatan

Titik	SMK3	N259	K371	KOP8
Nama Perusahaan / Industri	Kariadi Laundry	Kariadi Laundry	Inax Internasional	Hotel Djelita

**Tabel 17.** Penggunaan Air Tanah

Nama Perusahaan	2015	2016	2017	2018
Hotel Djelita	8403	4936	1058	4258
Inax Internasional	13620	13755	19163	16046
Kariadi Laundry	60984	45313	33418	29787

Data pengambilan air tanah disetiap perusahaan pada tiap tahunnya dibandingkan dengan laju penurunan muka tanah tiap tahun pada titik tersebut dan dihasilkan nilai korelasi seperti pada **Tabel 18**.

**Tabel 18.** Nilai Korelasi Laju Penurunan Muka Tanah dengan Pengambilan Air Tanah

Titik	SMK3	N259	K371	KOP8
Nilai Korelasi	0.771352	-0.63978	0.60718	-0.11483

Tabel 18 menunjukkan bahwa adanya korelasi kuat antara laju penurunan muka tanah dengan pengambilan air tanah pada titik SMK3 dan K371 dengan nilai korelasi antara 0,6 – 0,77, sedangkan pada titik N259 mengalami hubungan terbalik atau korelasi negatif dengan tingkat korelasi tinggi dan KOP8 terjadi korelasi negatif atau hubungan terbalik antara laju penurunan muka tanah dengan pengambilan air tanah dengan hubungan korelasi yang sangat rendah

**V. Penutup**

**V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis hasil data penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besaran nilai laju penurunan dari hasil pengamatan penurunan muka tanah pada titik pengamatan yang tersebar di Kota Semarang berkisar antara 0.4 cm – 6.17 cm per tahun. Pada titik SMK3 memiliki laju penurunan sebesar

2,95269 cm/tahun; N259 sebesar 4,59026 cm/tahun; K371 sebesar 0,40994 cm/tahun; KOP8 sebesar 6,17139 cm/tahun.

2. Nilai laju penurunan muka tanah Kota Semarang dalam periode 2013 – 2018 bervariasi antara 1,8272 – 18,1012 cm/5tahun. Pada titik SMK3 memiliki laju penurunan sebesar 1.8272 cm/5tahun; N259 sebesar 3.5470 cm/5tahun; K371 sebesar 3.6997 cm/5tahun; KOP8 sebesar 18.1012 cm/5tahun.
3. Analisis korelasi penurunan muka tanah dengan tata guna lahan, kepadatan penduduk dan penggunaan air tanah adalah sebagai berikut :
  - a. Adanya pengaruh namun tidak terlalu signifikan antara penurunan muka tanah dengan penggunaan lahan sebagai lahan terbangun yang ditunjukkan dengan nilai korelasi sebesar 0,3.
  - b. Adanya korelasi rendah antara penurunan muka tanah dengan kepadatan penduduk pada titik N259 yang dibuktikan dengan nilai korelasi sebesar 0,2 dan korelasi negatif terjadi pada titik SMK3, K371 dan KOP8 dengan nilai korelasi negatif bervariasi antara 0,31 - 0,65.
  - c. Adanya korelasi tinggi antara penurunan muka tanah dan pengambilan air tanah pada titik SMK3 dan K371 yang dibuktikan dengan dengan nilai korelasi bervariasi antara 0,6 – 0,77 namun korelasi negatif terjadi pada titik N259 dan KOP8 dengan nilai korelasi negatif sebesar 0,64 – 0,11.

**V.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang diberikan untuk keperluan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pengamatan penurunan muka tanah Kota Semarang sebaiknya dikombinasikan atau dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode pengamatan lain seperti InSAR, DinSar, Waterpass (levelling) dan gravimetri untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.
2. Pengukuran tinggi alat pada saat pengamatan dilapangan diharapkan lebih teliti dikarenakan sangat mempengaruhi hasil pengolahan data.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan analisis lebih mendalam menggunakan SPSS untuk mendapatkan besaran korelasi antara penurunan muka tanah di Kota Semarang dengan faktor faktor yang dianggap mempengaruhi penurunan muka tanah.
4. Memperbanyak sampel data untuk analisis nilai korelasi.
5. Dikarenakan penurunan muka tanah masih terus terjadi di Kota Semarang, diharapkan pengukuran terus dilakukan secara kontinu pada titik

pengamatan yang telah digunakan pada penelitian ini.

**Daftar Pustaka**

- \_\_\_\_\_.2018. Data Pengambilan Air Tanah oleh Perusahaan di Kota Semarang. Bidang II BAPENDA Kota Semarang
- Abidin, H.Z. 2007. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. PT Pradnga Paramita, Jakarta
- Abidin, H.Z dkk. 2010. Studying Land Subsidence in Semarang (Indonesia) Using Geodetic Methods. FIG Congress 2010. Australia
- Ahزاب, A.Y dkk. 2016. Penurunan Permukaan Tanah di DKI Jakarta. Universitas Indonesia. Depok. Makalah
- Herring, T., King, S.W. dan McClusky, S.C. 2010, GAMIT Reference Manual; GPS Analysis at MIT. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Science. Massachusetts Institute of Technology
- Kasfari, Roy.2017. Pengamatan Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Tahun 2017. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro
- Sugiyono. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta
- UNOOSA. 2011. 10 years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite Systems. Jurnal UNOOSA, New York
- Whittaker, B.N. dan Reddish. 1989. Subsidence Occurrence, Prediction and Control. Elsevier Science Publishing Company INC. Belanda
- Rai Utama, I. G. 2016. Uji Korelasi. Universitas Dhyana Putra. Bali