

**SURVEI PEMANTAUAN DEFORMASI MUKA TANAH KAWASAN
PESISIR MENGGUNAKAN METODE PENGUKURAN GPS
DI KABUPATEN DEMAK TAHUN 2016
(Studi Kasus : Pesisir Kecamatan Sayung, Demak)**

Luthfi Eka Rahmawan, Bambang Darmo Yuwono, M. Awaluddin^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto SH, Tembalang Semarang, Telp. (024)76480785, Fax. (024)76480788
e-mail :lutfieka932@yahoo.com

ABSTRAK

Demak adalah sebuah kabupaten yang terletak di sebelah utara pulau Jawa. Letaknya berbatasan langsung dengan Kota Semarang di sisi timur. Menurut sejarah, sebagian besar wilayah di kabupaten Demak, terutama di pesisir pantai utaranya memiliki struktur tanah yang labil, karena pada mulanya adalah rawa – rawa. Sehingga pada musim hujan pesisir utara Demak sering tergenang air dan pada saat musim kemarau karakteristik tanahnya pecah – pecah karena berasal dari struktur tanah berlumpur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar deformasi yang terjadi di pesisir pantai Kecamatan Sayung dengan melakukan survei menggunakan metode pengamatan GPS. Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Penelitian ini memanfaatkan patok – patok pengamatan yang berada di sekitar objek penelitian. Nilai deformasi diperoleh dengan acuan data penelitian tahun 2015, sedangkan pengolahan data menggunakan perangkat lunak ilmiah GAMIT 10.6.

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa perubahan tinggi berkisar antara +2,078 sampai -8,376 cm/tahun dengan metode pengolahan jaring IGS. Metode jaring lokal CSEM menghasilkan perubahan tinggi +1,341 hingga -5,822 cm/tahun. Sedangkan metode radial berkisar antara +0,130 hingga -8,546 cm/tahun. Penurunan didominasi di sebelah barat laut pesisir Sayung. Hal ini sesuai dengan penurunan muka air, kondisi geologi dan persebaran sumur di daerah tersebut. Uji statistik *Fisher* menunjukkan ketiga metode memiliki ketelitian yang sama.

Kata Kunci : Demak, Deformasi, GPS *dual frequensi*, dan GAMIT

ABSTRACT

Demak is a district located in the northern part of Java Island. It is located adjacent to the city of Semarang on the east side. Historically, most of the areas in Demak district, particularly on the northern coast have unstable soil structure because it was originally a swamp. Therefore, in the rainy season, the north coast of Demak is often flooded and in the dry season, the soil is broken because it comes from the muddy soil structure.

In order to study and comprehend how big the deformation occurs in the coastal area of Sayung sub-district, the writer conducts a survey using GPS observation method. Deformation is a change of the shape, position and dimension of an object (Kuang, 1996). The writer use stakes observation around the research sites. The value of deformation is obtained from the research data in 2015 while the data is processed using the software of GAMIT 10.6.

The result shows that the change is ranging from +2,078 to -8,376 cm/year by using IGS method. CSEM method produces high changes from +1,341 to -5,822 cm/year. Meanwhile radial method ranges from +0,130 to -8,546 cm/year. The subsidence is dominated in the North West coast of Sayung. This is consistent with the decrease of the groundwater level, geological condition and the distribution of wells in that area. From the Fisher statistical tests, it shows that the three methods have no significant differences.

Keywords: Demak, Deformation, GPS *dual frequency*, and GAMIT

^{*)}Penulis, PenanggungJawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Penurunan tanah di kawasan pesisir Kecamatan Sayung merupakan sebuah bencana yang terjadi sejak lama dan mengakibatkan tenggelamnya dua dusun (dusun Tambaksari dan Senik) akibat dari adanya banjir rob. Banjir rob adalah suatu peristiwa naiknya permukaan air laut dengan atau tidak disertai penurunan muka tanah akibat dari berbagai macam faktor yang terjadi disekelilingnya. Salah satu faktor yang mencolok adalah pembangunan kawasan yang tidak seimbang serta penggunaan air bawah tanah yang tidak terkontrol. Demak adalah sebuah kabupaten yang terletak di sebelah utara pulau Jawa. Kecamatan Sayung sendiri terletak di ujung barat kabupaten ini yang langsung berbatasan dengan Kecamatan Genuk Kota Semarang, Laut Jawa (sebelah utara), Kecamatan Bonang dan Karangtengah (sebelah timur), Kecamatan Guntur dan Mranggen (sebelah Selatan). Menurut (Sumiarsih, 2016), tanah di wilayah Semarang bagian Timur (Kecamatan Genuk dan sebagian Pedurungan) dan Kabupaten Demak (Kecamatan Sayung) berjenis *alluvial*. Salah satu unsur tanah ini berupa endapan lumpur. Pernyataan ini diperkuat bahwa daerah *alluvial* pantai membujur dari barat ke timur sepanjang pantai utara Jawa (Bemmelen, 1949).

Struktur tanah di pesisir Demak sebagian besar berasal dari endapan lumpur (rawa), maka rentan sekali mengalami pergerakan. Penurunan muka air tanah dan pembebanan akibat bangunan dan tanah timbunan mempercepat laju konsolidasi dan penurunan tanah (Sarah, 2011). Berbagai macam faktor tersebut mengakibatkan semakin meluasnya banjir rob di Kecamatan Sayung. Oleh karena itu, melalui penelitian ini, akan dikaji seberapa besar penurunan muka tanah (*subsidence*) di pesisir Sayung dan bagaimana pola penurunan dalam kurun waktu 2015 hingga 2016.

Permasalahan rob yang tak kunjung usai menyebabkan pada waktu – waktu tertentu wilayah Sayung kerap tergenang rob. Hasil penelitian di pesisir Semarang menunjukkan bahwa kontribusi penurunan muka air tanah kurang dari 50% dari total penurunan tanah yang terjadi, sementara kombinasi aplikasi pembebanan permukaan dan penurunan muka air tanah menunjukkan hasil yang mendekati data pemantauan penurunan tanah (Sarah, 2011). Terlebih pada siklus terparah saat muka airlaut paling tinggi (Juni 2016), rob menerjang pesisir Demak dengan ketinggian mencapai satu meter (Tribun News, 29 Mei 2016).

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besarnya laju penurunan tanah yang terjadi di pesisir Kecamatan Sayung ?
2. Bagaimana pola Penurunan Muka Tanah (PMT) di Sayung, Demak ?
3. Bagaimana korelasi penurunan tanah dengan keadaan sekitar objek penelitian ?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Melakukan pengukuran menggunakan alat ukur GPS dual frekuensi di titik – titik pengamatan.
2. Melakukan perhitungan data dan membandingkan dengan data pengamatan sebelumnya untuk mendapatkan besaran penurunan.
3. Mencari korelasi yang tepat guna mendapatkan penyebab asli penurunan tanah di sekitar objek penelitian.
4. Memberikan masukan kepada instansi terkait tentang adanya deformasi dalam rangka mendukung program mitigasi bencana.

I.4. Ruang Lingkup

Adapun Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Daerah penelitian berada di enam desa yakni di Desa Bedono, Desa Timbulsloko, Desa Purwosari, Desa Surodadi, Desa Sidogemah dan Desa Tugu. Keenam desa tersebut berada di Kecamatan Sayung, kabupaten Demak.
2. Pengumpulan data ukur 10 titik pemantauan deformasi muka tanah dengan melakukan pengukuran GPS dual frekuensi secara statik
3. Pengolahan dan perhitungan data menggunakan titik ikat lokal dan internasional. Titik ikat lokal dengan stasiun CSEM sedangkan stasiun internasional menggunakan BAKO, COCO, PIMO, KAT1, PBRI dan PNGM.
4. Pengolahan dan perhitungan data GPS menggunakan *scientificsoftware* GAMIT 10.6 dengan strategi olah jaring IGS, jaring CSEM dan metode radial.
5. Hasil dari pengolahan akan didapatkan perubahan ketinggian di delapan titik pengamatan dan dua nilai ketinggian di titik pengamatan baru (BDN1 dan BDN2).

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Penelitian Terdahulu

1. Menurut (Pryambodo, 2012), yang melakukan penelitian penurunan muka tanah di kawasan industri kaligawe, dengan metode sipat datar (*levelling*). Pengukuran dilakukan pada bulan Juni 2004 dan November 2005 (rentang 16 bulan). Disimpulkan bahwa lokasi penelitian selama periode tersebut mengalami penurunan tanah sebesar 1-10 cm. Penurunan relatif merata di daerah penelitian, namun penurunan muka tanah terbesar terjadi di sebelah barat dan utara daerah penelitian. Penurunan diduga diakibatkan oleh beban bangunan di atas tanah *alluvial* yang belum terkompaksi.
2. Menurut (Yuwono dkk., 2013) dalam penelitiannya menjelaskan karakteristik dari penurunan tanah perlu diketahui untuk keperluan perencanaan dan penataan kota maupun tindakan dalam melakukan antisipasi mitigasi terhadap dampak yang ditimbulkan. Penelitian tersebut ditujukan untuk memperoleh karakteristik penurunan muka tanah dengan penggabungan hasil pengukuran dari berbagai metoda yaitu sipat datar, GPS pengukuran langsung,

dan INSAR. Penurunan muka tanah di Kota Semarang bervariasi antara 0 – 13 cm/tahun dengan kecenderungan meningkat ke arah timur laut Kota Semarang.

3. Menurut (Haqqi, 2015) melakukan survei pendahuluan deformasi untuk pertama kalinya di kecamatan Sayung, kabupaten Demak. Berdasarkan tinjauan dari peta geologi, peta jenis tanah, peta abrasi, peta DAS dan peta tata guna lahan dalam RTRW kabupaten Demak tahun 2011-2031 maka pembuatan rancangan desain jaringan titik kontrol untuk deformasi muka tanah di pesisir kecamatan Sayung dapat disimpulkan bahwa semua titik pengamatan sesuai untuk dilakukannya pengamatan deformasi muka tanah di pesisir pantai Sayung tersebut. Koordinat yang paling teliti didapatkan dengan menggunakan metode ikat IGS yaitu dengan mengikatkan pada stasiun BAKO, COCO, PIMO dan KAT1.

II.2. Penurunan Muka Tanah

Penurunan muka tanah (*landsubsidence*) 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. Penurunan tanah adalah salah satu bagian dari deformasi. Beberapa 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 (Kurniawan, 2013).

Berbagai penyebab terjadinya penurunan tanah bisa digolongkan menjadi (Whittaker dan Reddish, 1989 dikutip dalam Bimantara, 2012) :

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) disebabkan oleh proses-proses geologi, seperti aktivitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga di bawah permukaan tanah.
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 di atas bumi seperti struktur bangunan yang membuat lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi. Penurunan ini juga sering disebut *settlement*.
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari dalam bumi (aktivitas penambangan)
5. Sedimentasi daerah cekungan (*sedimentarybasin*).
6. Adanya rongga di bawah permukaan tanah sehingga atap rongga runtuh dan hasil runtuhan atap rongga membentuk lubang yang disebut *sinkhole*.

II.3. International GNSS Service (IGS)

IGS adalah organisasi internasional yang merupakan kumpulan dari agensi di seluruh dunia yang mengumpulkan sumber dan data permanen dari stasiun GNSS dan memelihara sistem GNSS. IGS menyediakan data dan produk berkualitas tinggi untuk kepentingan penelitian ilmiah dan aplikasi multidisiplin. Setiap negara berkontribusi dalam IGS dengan membangun stasiun – stasiun IGS di seluruh dunia dan saat ini IGS menangani dua stasiun GNSS, yakni GPS dan GLONASS.

II.4. Continuously Operating Reference Stations (CORS)

CORS adalah suatu teknologi berbasis GNSS yang berwujud sebagai suatu jaring kerangka geodetik yang pada setiap titiknya dilengkapi dengan *receiver* yang mampu menangkap sinyal dari satelit-satelit GNSS yang beroperasi secara kontinu.

Sejak tahun 2006 di Indonesia telah dibangun stasiun-stasiun CGPS (*Continuous GPS*) oleh Bakosurtanal yang ditempatkan di beberapa daerah di Indonesia. Sampai saat ini jaringan CGPS di Indonesia sudah mencakup seluruh Indonesia dengan persebaran merata di setiap provinsi.

II.5. GPS Analysis of Massachusset Institute of Technology (GAMIT)

GAMIT dan GLOBK (*Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program*) yang merupakan perangkat lunak ilmiah dan *open source* dengan *platform* berbasis UNIX/LINUX.

GAMIT adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data pengamatan GPS yang dikembangkan oleh MIT, SIO (*Scripps Institution of Oceanography*) dan *Harvard University* dengan dukungan *National Science Foundation* untuk melakukan analisis pengamatan GPS yaitu estimasi koordinat stasiun, percepatan, fungsi *post-seismic* deformasi, *atmosphericdelay*, orbit satelit dan parameter orientasi bumi. Perangkat lunak ini dapat diperoleh tanpa perjanjian tertulis atau royalti oleh perguruan tinggi dan instansi pemerintah untuk tujuan nonkomersial. Perangkat lunak ini dapat menghasilkan posisi relatif tiga dimensi stasiun bumi, orbit satelit dan parameter orientasi bumi.

III. Metodologi Penelitian

III.1. Alat yang Digunakan

- 1) Perangkat Komputer dengan Spesifikasi :
 - a. Laptop ASUS S550CB
 - b. Sistem Operasi *Windows 10 Home64-bit* dan *Linux Ubuntu 14.04 LTS 64-bit*
 - c. Processor *Intel (R) Core (TM) i5-3337U*
 - d. RAM 4096 MB
 - e. HDD 750 GB (75 GB untuk partisi *Ubuntu*)
- 2) Perangkat Lunak :
 - a. GAMIT 10.6 dan kelengkapannya, yaitu :
 1. NETCDF (*Network Common Data Form*), perangkat lunak *dependencies* yang harus dipenuhi bila menginstal GAMIT.

- 2. Gfortran, perangkat lunak yang digunakan sebagai *compiler* di GAMIT.
- b. Geany adalah *cross platform* ringan GUI berbasis editor teks di Ubuntu.
- c. TEQC untuk cek kualitas data observasi GPS
- d. *Microsoft Office* 2013
- e. *Google Earth* dan *ArcMap* 10.3

III.2. Bahan yang Dibutuhkan

- 1) Data pengamatan GPS tahun 2015 *dayofyear(doy)* 122, 124, 126 dan 128.
- 2) Data pengamatan GPS tahun 2016 (*doy* 114, 115, 116 dan 117).
- 3) Stasiun IGS (BAKO, COCO, KAT1, PIMO, PBRI dan PNGM) sesuai *doy* pengamatan.
- 4) Stasiun ikat lokal CORS CSEM tahun 2015 dan 2016 sesuai dengan *doy* pengamatan.
- 5) *File* koreksi cuaca, atmosfer dan gelombang laut sesuai dengan tahun pengamatan.
- 6) *File* brdc sesuai dengan *doy* pengamatan.
- 7) *Hatanaka File* sesuai dengan *doy* pengukuran.
- 8) *File ephemeris .sp3* sesuai *doy* dari *gps week*.
- 9) RTRW kabupaten Demak.

III.3. Strategi Pengolahan

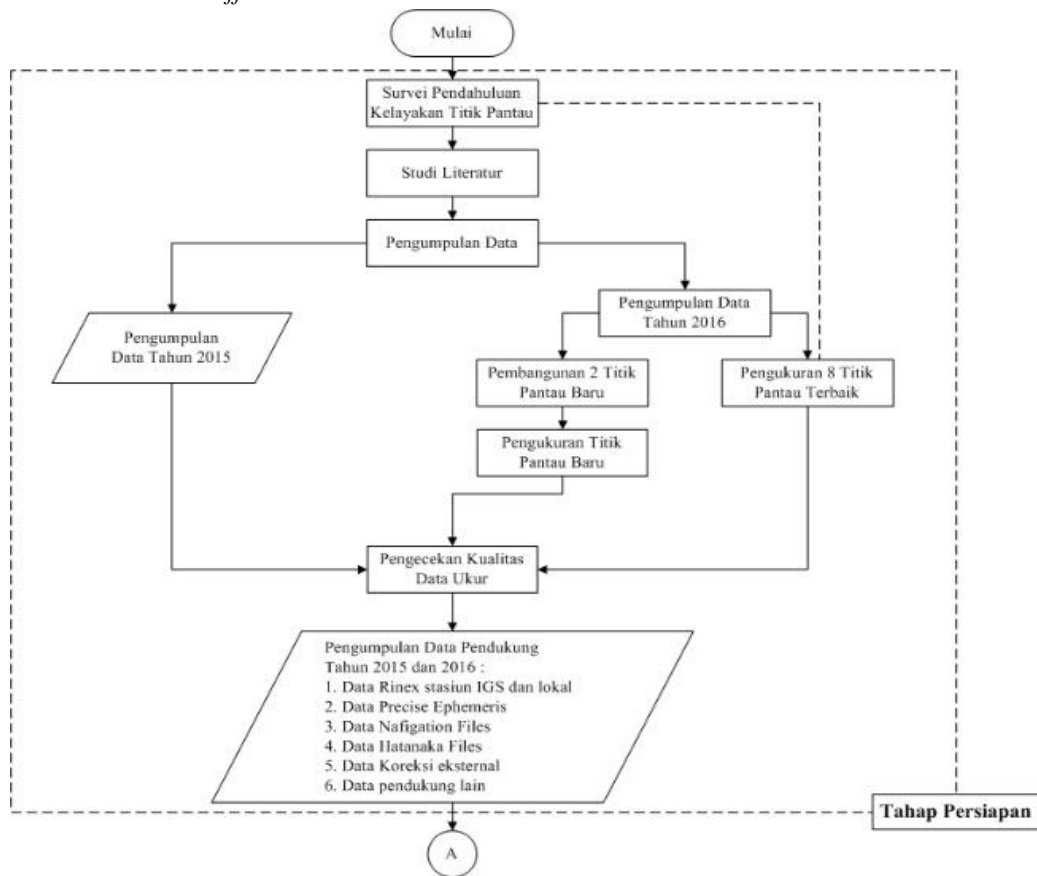
Penentuan posisi dilakukan dengan menggunakan alat penerima sinyal satelit (*receiver*) GNSS *dual frekuensi* dengan metode statik *double difference*. Metode statik *double difference* adalah

metode pengamatan beberapa titik diam dengan menggunakan beberapa *receiver* selama rentang waktu tertentu dan dilakukan secara sistematis. Pengamatan ini menggunakan beberapa kombinasi titik ikat sebagai titik acuan dimana titik tersebut dianggap tetap dan tidak mengalami pergerakan dalam rentang waktu tertentu, titik ikat CORS CSEM sebagai titik ikat lokal dan titik ikat 6 stasiun IGS sebagai titik ikat internasional. Metode pengolahannya yakni jaring IGS, jaring CSEM dan radial dengan titik referensi CSEM.

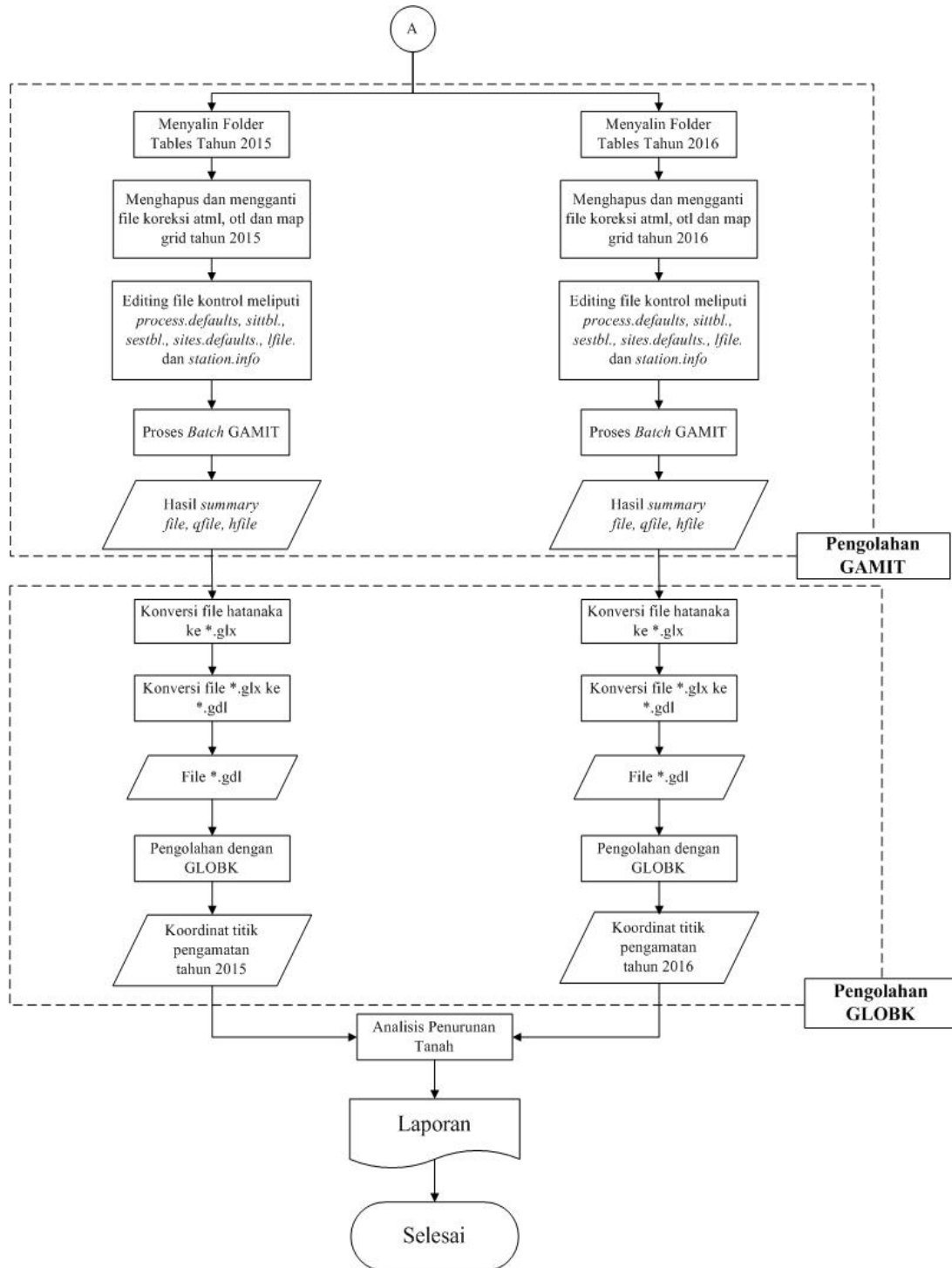
III.4. Pelaksanaan

- a. Survei pendahuluan di lokasi pengukuran.
- b. Pengurusan perijinan.
- c. Pengumpulan data ukur tahun 2015 dan kelengkapannya yang dijadikan sebagai origin.
- d. Permintaan data ke Instansi terkait guna memenuhi data primer dan sekunder.
- e. Pengolahan dengan menggunakan GAMIT.
- f. Analisis penurunan muka tanah.
- g. Mengkorelasikan dengan keadaan di lokasi penelitian.

Secara spesifik metodologi penelitian tugas akhir ini dapat di lihat pada Gambar III.1 berikut:



Gambar III.1. Diagram Alir



Gambar III.1. Diagram Alir (Lanjutan)

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Hasil Pemasangan Titik Pengamatan Baru

Titik pengamatan baru diletakkan di Desa Bedono yang diindikasikan mengalami penurunan tanah dan kedekatan pemukiman dengan bibir pantai serta adanya objek vital berupa tempat wisata dan makam leluhur di desa ini. Titik BDN1 dan BDN2 berada persis di sebuah jalan desa berbatasan langsung dengan laut lepas dibagian utara. Titik ini dibangun lebih kokoh untuk menggantikan titik PDSR yang hilang dan titik BDNO yang tidak layak ukur.

Gambar IV.1. berikut adalah gambaran persebaran titik ukur di tahun 2016 dengan dua titik baru dengan pin warna hijau. Pin warna merah adalah titik yang tidak layak ukur.



Gambar IV.1. Peta Lokasi Titik Pengamatan di Pesisir Pantai Sayung (Google Earth, 2016)

IV.2. Hasil Pengecekan TEQC

TEQC berfungsi untuk melihat kualitas data observasi. Indikasi baik buruknya ditunjukkan dengan nilai *moving average* MP1 dan MP2 yang menunjukkan efek *multipath*.

Tabel IV.1. Hasil Cek Kualitas Data Tahun 2016

Titik	MP1	MP2	Alat Ukur
PRWS	0,300293	0,314016	Hiper GB
WNSR	0,518471	0,544309	Hiper GB
SIDO	0,481011	0,48126	Hiper II
GEMA	0,311381	0,305413	Hiper II
TUGU	0,343395	0,357062	Hiper GB
TMBL	0,681992	0,571695	Hiper GB
SURO	0,353386	0,338689	Hiper GB
DADI	0,621246	0,583523	Hiper GB
BDN1	0,270808	0,268439	Hiper GB
BDN2	0,356575	0,310221	Hiper GB

IV.3. Hasil Pengolahan GAMIT

Pengolahan dengan GAMIT menghasilkan beberapa file keluaran, adalah *h-files*, *summary file*,

danq-file. *H-files* merupakan file yang memuat nilai *adjustment* dan matriks varian-kovarian. Dalam *q-files* memuat hasil analisis program *solve* yang berisi hasil evaluasi dari pengolahan data. *Files_h_gamit.summary* untuk mengetahui hasil pengolahan GAMIT.

Tabel IV.2. *SummaryFile* Metode Jaring IGS 2016

Doy	Titik	Prefit	Postfit	WL	NL
114	PRWS	1,8383	0,19852	87,4%	72,3%
	WNSR				
	SIDO				
115	GEMA	1,6604	0,19332	94,9%	83,3%
	TUGU				
	TMBL				
116	SURO	1,5589	0,18858	96,7%	86,7%
	DADI				
117	BDN1	1,9652	0,20772	92,8%	89,5%
	BDN2				

Tabel IV.3. *SummaryFile* Metode Jaring CSEM 2016

Doy	Titik	Prefit	Postfit	WL	NL
114	PRWS	0,24778	0,21708	92,5%	85,0%
	WNSR				
	SIDO				
115	GEMA	0,23736	0,21563	100%	77,1%
	TUGU				
	TMBL				
116	SURO	0,32173	0,25476	100%	83,9%
	DADI				
117	BDN1	0,32358	0,23936	100%	96,6%
	BDN2				

Tabel IV.4. *SummaryFile* Metode Radial 2016

Doy	Titik	Prefit	Postfit	WL	NL
114	PRWS	0,35378	0,27057	100%	71,4%
	WNSR	0,32721	0,23310	100%	75%
	SIDO	0,27900	0,25113	85,7%	71,4%
115	GEMA	0,27574	0,24418	100%	75%
	TUGU	0,32812	0,25294	100%	100%
	TMBL	0,29645	0,26514	100%	60%
116	SURO	0,33768	0,28649	100%	68,8%
	DADI	0,34047	0,29942	100%	66,7%
117	BDN1	0,26152	0,20299	100%	93,3%
	BDN2	0,38412	0,28818	100%	100%

Hasil rekap nilai postfit dan prefit menunjukkan pada pengamatan tahun 2016 metode IGS terdapat nilai >0,5, hal ini menunjukkan adanya *cycle slips* data saat diolah dengan metode tersebut. Nilai *Wide Line* dan *Narrow Line* secara rata – rata masih dalam katagori baik dimana nilai WL dikatakan baik jika >90% dan NL >80%.

IV.4. Hasil Pengolahan GLOBK

Proses GLRED/GLOBK adalah satu rangkaian proses GAMIT/GLOBK dimana hasil dari proses GAMIT berupa *h-files* menjadi syarat untuk pengolahan GLOBK. Nilai koordinat yang diperoleh berupa koordinat kartesian 3D (X,Y,Z), koordinat toposentrik (N,E,U) beserta simpangan bakunya masing – masing. Berikut adalah rekap selisih nilai tinggi hasil perhitungan ketiga metode pengolahan.

Tabel IV.5. Hasil Perhitungan Perubahan Tinggi Metode Jaring IGS

TITIK	2015 (m)	2016 (m)	dU IGS (m)	dU/th (cm)
PRWS	28,53045	28,48874	-0,04171	-4,313
WNSR	27,75994	27,70876	-0,05118	-5,292
SIDO	27,09909	27,01762	-0,08147	-8,376
GEMA	27,44927	27,39193	-0,05734	-5,879
TUGU	27,61316	27,56421	-0,04895	-5,076
TMBL	27,26721	27,22065	-0,04656	-4,747
SURO	27,03767	27,03116	-0,00651	-0,662
DADI	27,51822	27,53832	0,02010	2,078

Tabel IV.6. Hasil Perhitungan Perubahan Tinggi Metode Jaring CSEM

TITIK	2015 (m)	2016 (m)	dU CSEM (m)	dU/th (cm)
PRWS	28,52408	28,51381	-0,01027	-1,062
WNSR	27,78359	27,72983	-0,05376	-5,559
SIDO	27,09083	27,06596	-0,02487	-2,557
GEMA	27,44666	27,39212	-0,05454	-5,592
TUGU	27,64855	27,5924	-0,05615	-5,822
TMBL	27,26408	27,21941	-0,04467	-4,554
SURO	27,07961	27,07694	-0,00267	-0,271
DADI	27,56375	27,57672	0,01297	1,341

Tabel IV.7. Hasil Perhitungan Perubahan Tinggi Metode Radial

TITIK	2015	2016	dU Radial	dU/th (cm)
PRWS	28,56983	28,5665	-0,00333	-0,344
WNSR	27,78517	27,78345	-0,00172	-0,178
SIDO	27,10065	27,07295	-0,0277	-2,848
GEMA	27,45886	27,37551	-0,08335	-8,546
TUGU	27,64823	27,59146	-0,05677	-5,887
TMBL	27,23021	27,22891	-0,0013	-0,133
SURO	27,02101	27,01169	-0,00932	-0,948
DADI	27,57248	27,57374	0,00126	0,130

IV.5. Uji Fisher

Pada uji statistik ini digunakan untuk mengetahui adanya tidaknya perbedaan pada hasil pengukuran dengan pengolahan tiga metode dari pengamatan dua tahun. Uji ini dilakukan dengan membandingkan variansi dari metode pengolahan.

Tabel IV.8. Rekap Nilai Standar Deviasi

No	Metode	Rerata standar deviasi (s)	Variansi (s ²)	F Tabel
1	Radial	0,0049463	0,0000245	4,43
2	Jaring CSEM	0,0048663	0,0000237	4,43
3	Jaring IGS	0,0092038	0,0000847	4,43

A. Radial dengan Jaring CSEM

$$F = \frac{0,0000245}{0,0000237} = 1,033$$

B. Radial dengan Jaring IGS

$$F = \frac{0,0000847}{0,0000245} = 3,462$$

C. Jaring CSEM dengan Jaring IGS

$$F = \frac{0,0000847}{0,0000237} = 3,577$$

Perhitungan dari perbandingan tiga metode tahun 2015 mendapatkan nilai lebih kecil dari pada F tabel, (F hitung < F tabel), sehingga hipotesa nol diterima. Kesimpulan dari perhitungan menggunakan *Software scientific* GAMIT dengan metode jaring IGS, jaring CSEM dan radial tidak ada perbedaan secara signifikan.

IV.6. Uji Penurunan (T)

Uji statistik *T Student* dilakukan dengan cara menguji variabel titik pengamatan (P_{ij}) dari tinggi titik pengamatan *i* ke tinggi titik pengamatan *j*.

Tabel IV.9. Hasil Uji T Metode Jaring IGS

TITIK	du IGS	std du tahun 2016	T	Perubahan Tinggi
PRWS	-0,04171	0,00489	8,529	Ya
WNSR	-0,05118	0,00495	10,339	Ya
SIDO	-0,08147	0,00489	16,661	Ya
GEMA	-0,05734	0,00490	11,702	Ya
TUGU	-0,04895	0,00496	9,869	Ya
TMBL	-0,04656	0,00497	9,368	Ya
SURO	-0,00651	0,00492	1,323	Tidak
DADI	0,0201	0,00497	4,044	Ya

Tabel IV.10. Hasil Uji T Metode Jaring CSEM

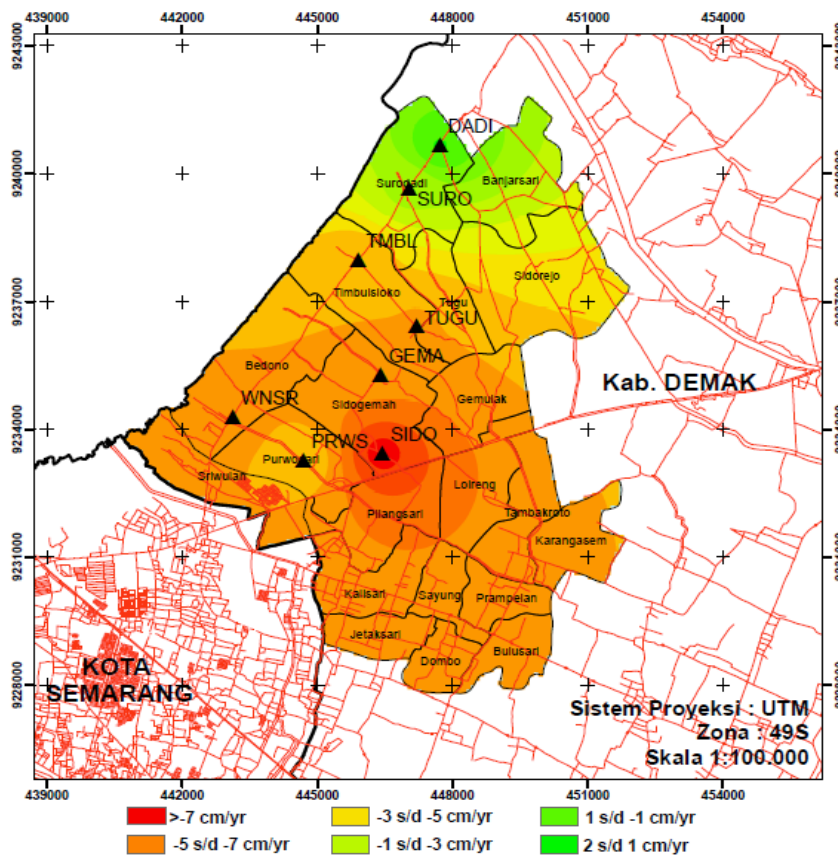
TITIK	du CSEM	std du tahun 2016	T	Perubahan Tinggi
PRWS	-0,01027	0,00490	2,096	Ya
WNSR	-0,05376	0,00494	10,883	Ya
SIDO	-0,02487	0,00492	5,055	Ya
GEMA	-0,05454	0,00491	11,108	Ya
TUGU	-0,05615	0,00494	11,366	Ya
TMBL	-0,04467	0,00496	9,006	Ya
SURO	-0,00267	0,00493	0,542	Tidak
DADI	0,01297	0,00495	2,620	Ya

Tabel IV.11. Hasil Uji T Metode Radial

TITIK	du Radial	std du tahun 2016	T	Perubahan Tinggi
PRWS	-0,00333	0,00494	0,674	Tidak
WNSR	-0,00172	0,00497	0,346	Tidak
SIDO	-0,0277	0,00494	5,607	Ya
GEMA	-0,08335	0,00494	16,872	Ya
TUGU	-0,05677	0,00498	11,4	Ya
TMBL	-0,0013	0,00497	0,261	Tidak
SURO	-0,00932	0,00500	1,864	Tidak
DADI	0,00126	0,00500	0,252	Tidak

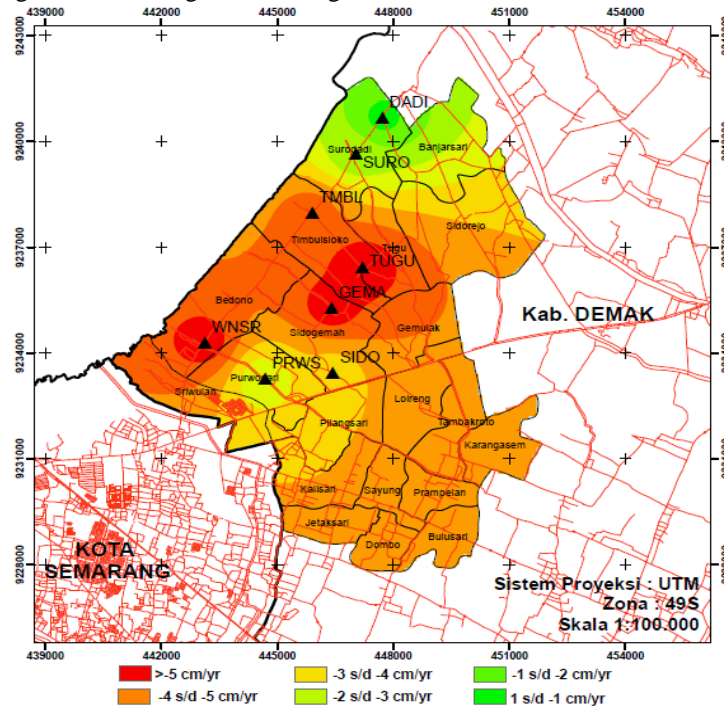
IV.7. Analisis Hasil Pengolahan

Hasil perhitungan menunjukkan dari delapan titik yang dilakukan pengamatan sebanyak dua kali, enam diantaranya mengalami penurunan antara satu hingga delapan cm per tahunnya. Dua titik (SURO dan DADI) mengalami penurunan yang kecil dan di metode tertentu mengalami kenaikan berkisar satu hingga dua centimeter per tahun.



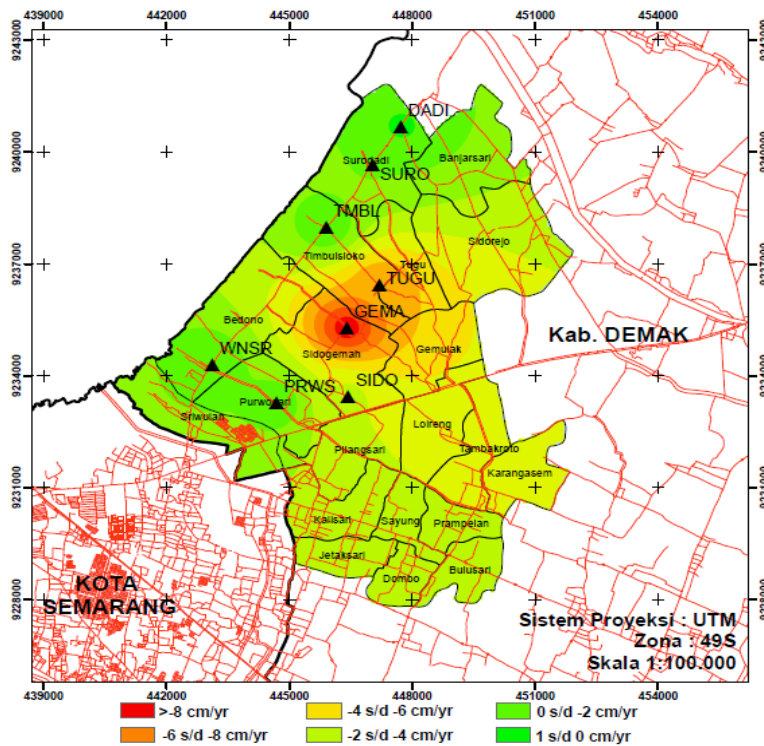
Gambar IV.2. Peta Zona Penurunan Tanah di Kecamatan Sayung dengan Metode Jaringan IGS

Peta zona penurunan tanah tersebut menunjukkan bahwa penurunan tanah cukup merata terjadi di barat Kecamatan Sayung. Hal ini terlihat pada kecepatan penurunan antara lima hingga tujuh cm/tahun yang terjadi di Desa Purwosari, Bedono, Sidogemah dan sebagian Desa Tugu.



Gambar IV.3.Peta Zona Penurunan Tanah di Kecamatan Sayung dengan Metode Jaring CSEM

Hasil *plotting* zona penurunan tanah dengan titik referensi tetap stasiun lokal CSEM menunjukkan bahwa penurunan di sebelah barat laut Sayung adalah yang relatif parah dengan laju penurunan lebih dari 5cm/tahun. Hal ini tidak lepas dari pengaruh penurunan tanah terparah di timur Semarang Utara yang mencapai delapan sampai 12 cm/tahun (Maiyudi, 2012).



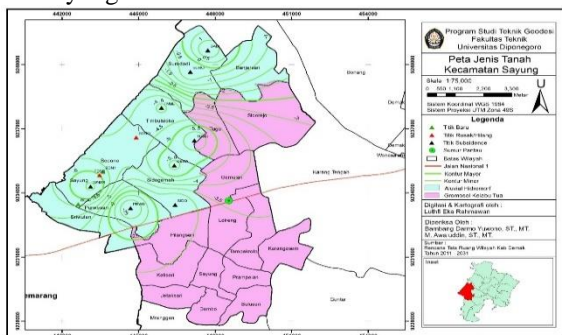
Gambar IV.4.Peta Zona Penurunan Tanah di Kecamatan Sayung dengan Metode Radial

Peta zonasi penurunan tanah metode radial (penurunan terhadap titik itu sendiri) terlihat gradasi warna yang didominasi warna hijau cerah. Hal ini berarti penurunan tanah jika dihitung dengan metode ini berkisar dibawah 2cm/tahun.

IV.8. Analisis Korelasi Hasil Pengolahan

1. Korelasi Penurunan Tanah dengan Kondisi Geologi

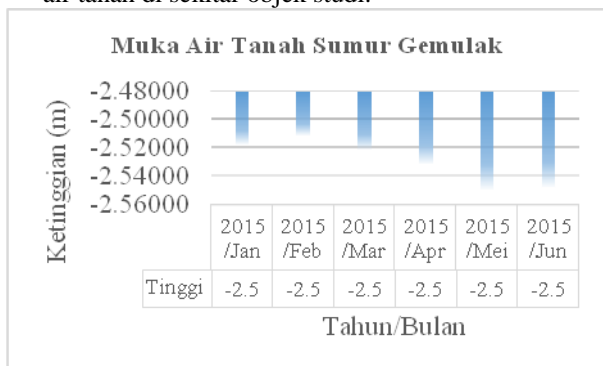
Kecamatan Sayung memiliki dua jenis tanah yakni *AlluvialHidromorf* (Gleisol) dan Gromosol Kelabu Tua. Penurunan tanah paling besar terjadi di lapisan tanah aluvial. Penurunan tanah pada gambar disamping berkisar antara 4 sampai 5 cm/tahun dengan penurunan paling besar -5,6 cm/tahun disekitar titik TUGU, dan kenaikan terbesar di titik DADI sebesar +1,2 cm/tahun. Peta berikut adalah hasil *overlay* penurunan tanah dengan kondisi geologi. Tujuannya untuk mengetahui kaitan antara penurunan tanah dengan kondisi geologi sekitar titik. Hasilnya penurunan tanah terjadi diatas lapisan tanah *alluvium* di sekitar pesisir bagian barat Sayung.



Gambar IV.5. Peta Overlay Penurunan Tanah dengan Kondisi Geologi Kecamatan Sayung

2. Korelasi Penurunan Tanah dengan Muka Air Tanah

Pemompaan air tanah yang berlebihan menyebabkan penurunan muka air tanah. Pemanfaatan air tanah yang melebihi besarnya pengisian kembali (*recharge*) akan menyebabkan berkurangnya volume air tanah. Lokasi sumur pantau Gemulak tidak jauh dari objek penelitian Jarak terdekat dengan titik SIDO 2,2 km dan paling jauh hanya 7,7km (DADI). Sehingga penurunan muka air tanah dari sumur pantau Gemulak menggambarkan penurunan muka air tanah di sekitar objek studi.



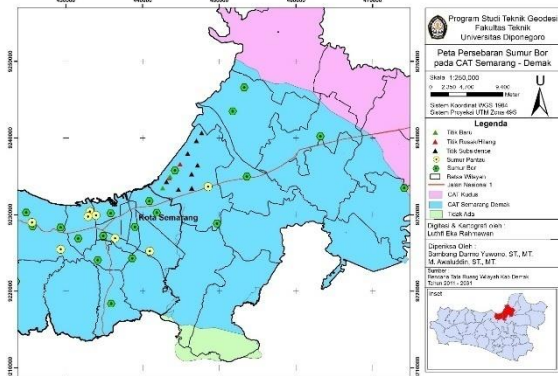
Gambar IV.6. Grafik Ketinggian Muka Air Tanah pada Sumur Gemulak

Penurunan muka air tanah di sumur Gemulak terjadi karena aktivitas industri yang ada di sepanjang Pantura Semarang – Demak. Pengambilan air terlihat menunjukkan trenpeningkatanper bulannya

yang mendasari adanya pengaruh dengan penurunan tanah di Sayung.

3. Korelasi Penurunan Tanah dengan Persebaran Sumur Bor

Sumur pantau ketinggian muka air tanah pada prinsipnya juga sumur bor. Perbedaannya, jika sumur bor, airnya digunakan untuk kebutuhan sehari – hari, namun sumur pantau hanya berfungsi sebagai sumur pemantau ketinggian muka air tanah.



Gambar IV.7. Peta Persebaran Sumur Bor pada Cekungan Air Tanah (CAT) Semarang-Demak

Gambar IV.7. menunjukkan hanya ada beberapa sumur bor resmi yang ada di sekitar objek penelitian. Klasifikasi sumur yang terpetakan pada gambar diatas adalah sumur dengan kedalaman kurang dari 150 meter yang berpotensi memberikan dampak terhadap muka air tanah

IV.9. Analisis Dampak Penurunan Tanah di Sayung

Penurunan tanah yang bervariasi di beberapa titik di kecamatan Sayung menyebabkan berbagai dampak yang merugikan untuk kehidupan manusia. Pertama, lokasi penurunan tanah di Desa Bedono, Purwosari dan Sidogemah telah terasa kerusakan fisik bangunan yang menyebabkan masyarakat harus menyediakan biaya ekstra untuk perbaikan rumah.



Gambar IV.8. Peninggian Halaman Yang Tidak Diiringi Dengan Peninggian Rumah (Lokasi Desa Purwosari)

Kerusakan juga terjadi pada fasilitas umum. Terlihat beberapa ruas jalan penghubung antar kota hingga jalan desa yang terus mengalami keretakan



Gambar IV.9. Tiang Listrik Yang Miring Akibat Berdiri di Lokasi Rob

Terlepas dari akibat nyata dari korelasi penurunan tanah dengan semakin naiknya muka air laut, permasalahan sosial terkait lingkungan juga terjadi. Desa Sidogemah adalah yang terparah. Banyak genangan air beserta sampah dan menimbulkan kesan kumuh.



Gambar IV.10. Tempat Tinggal yang Tidak Layak

Fenomena banjir rob adalah peristiwa masuknya air laut ke daratan pada waktu tertentu yang disebabkan oleh tingginya muka air laut. Hal ini semakin diperparah ketika banjir rob terjadi di daerah dengan tingkat penurunan tanah yang besar.



Gambar IV.11. Rob Dan Kerusakan Jalan di Penghubung Pantura Semarang – Demak

V. Penutup

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan akhir sebagai berikut :

1. Laju penurunan muka tanah di kecamatan Sayung terjadi di tujuh dari delapan titik pengamatan yang sama pada tahun 2015 dan 2016. Laju perubahan ketinggian menggunakan metode jaring IGS berkisar antara +2,078 (titik DADI) hingga -8,376 cm/tahun (titik SIDO). Sedangkan untuk metode jaring CSEM berkisar antara +1,341 (titik DADI) sampai -5,822 cm/tahun (titik TUGU). Serta metode radial perubahan tinggi berkisar +0,130 (titik DADI) sampai -8,546 cm/tahun (titik GEMA).
2. Hasil pengolahan komponen tinggi memiliki standar deviasi rata – rata untuk metode jaring IGS sebesar $\pm 0,00707$ meter, metode jaring CSEM sebesar $\pm 0,00490$ meter dan metode radial sebesar $\pm 0,00496$ meter. Pengujian F (*Fisher*) menunjukkan ketiga metode tidak ada perbedaan hasil secara signifikan.
3. Pola Penurunan Muka Tanah (PMT) di Sayung memiliki karakteristik bervariasi secara spasial, dengan beberapa metode pengolahan didapatkan kecenderungan penurunan tanah semakin besar mendekati pesisir utara bagian barat Sayung dengan penurunan terbesar berada di Desa Sidogemah dan Bedono. Sejalan dengan hasil tersebut, dua desa ini mengalami dampak terparah akibat PMT berupa banjir rob dan kerusakan infrastruktur.
4. Penurunan Muka Tanah memiliki kaitan erat dengan kondisi geologi, perubahan muka air tanah dan pemanfaatan sumur bor dalam kehidupan. Berbagai faktor alamiah tersebut saling memberikan kontribusi dalam percepatan konsolidasi alami penurunan muka tanah.

V.2. Saran

Berdasar dari pengalaman peneliti, terdapat beberapa saran untuk kemajuan penelitian mendatang, diantaranya :

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya mempelajari laporan ini, terutama soal strategi pengukuran yang harus sejalan jika akan memakai data penelitian tahun ini (2016) sebagai pembanding.
2. Titik – titik pengukuran dalam satu *day* diharuskan sama dengan penelitian sebelumnya, untuk menghindari efek perbedaan kualitas data.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan *setting* tinggi alat yang sama dengan sebelumnya (toleransi ± 2 mm) untuk meminimalkan kesalahan akibat perbedaan posisi tinggi saat pengukuran.
4. Peningkatan waktu pengukuran untuk menghasilkan data yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Bemmelen, R.W. van. 1949. *"The Geology of Indonesia Vol. IA. General Geology"*. Government Printing Office: The Hague, 732 h.
- Bimantara, Ardito Yoga. 2012. *Pemetaan Dampak Akibat Penurunan Muka Tanah Di Wilayah Jakarta*. Skripsi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Haqqi, Kun Fariqul. 2015. *Survei Pendahuluan Deformasi Muka Tanah dengan Pengamatan Gps di Kabupaten Demak (Studi Kasus : di Pesisir Pantai Kecamatan Sayung)*. Skripsi Teknik Geodesi Undip.
- Kuang, S. 1996. *Geodetic Network Analysis and Optimal Design*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan.
- Kurniawan, Aldika. 2013. *Analisis Penurunan Muka Tanah Daerah Semarang Menggunakan Perangkat Lunak Gamit 10.04 Kurun Waktu 2008-2013*. Jurnal Geodesi Undip Volume 2, Nomor 4, Tahun 2013, (ISSN : 2337-845X). Oktober 2013.
- Maiyudi, Riko. 2012. *Studi Penyebab dan Identifikasi Dampak Penurunan Tanah di Wilayah Semarang*. Skripsi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung.
- Pryambodo, Dino Gunawan. 2012. *Penurunan Muka Tanah Di Pesisir Semarang (Studi Kasus: Daerah Industri Kaligawe)*. Jurnal Ilmiah Geomatika LPSDKP Padang Vol. 18, No. 2, Desember 2012.
- Sarah, Dwi., et al. 2011. *Modelling Of Land Subsidence Along Tanah Mas -Pelabuhan Section Semarang City Using Finite Element Method*. Journal Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 21 No. 2 (2011), 105–119. 8 Desember 2011.
- Whittaker B. N. & Reddish D. J. 1989, *Subsidence Occurrence, Prediction and Control*,. Developments in Geotechnical Engineering, 56, Elsevier.
- Yuwono, B.D., Hasanuddin Z.A., M. Hilmi. 2013. *Analisa Geospasial Penyebab Penurunan Muka Tanah Di Kota Semarang*. Prosiding SNST ke-4 Tahun 2013 Universitas Wahid Hasyim Semarang.