
EVALUASI PENURUNAN TANAH KAWASAN LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN GPS GEODETIK DAN PERANGKAT LUNAK GAMIT/GLOBK

Teguh Hariyanto¹, Akbar Kurniawan¹, Kukuh Prakoso Sudarsono¹

¹Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111

Email : teguh_hr@geodesy.its.ac.id

Abstrak

Peristiwa alam yang terjadi di Indonesia banyak sekali terjadi, dikarenakan lokasi geografis Indonesia dan tatanan tektonik yang sering memicu peristiwa alam. Salah satu peristiwa alam yang terjadi di Indonesia adalah lumpur Sidoarjo. Lumpur Sidoarjo atau lebih dikenal sebagai lumpur Lapindo, adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas dari lokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Dusun Balongnongo, Desa Renokenogo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Fenomena yang terjadi pada lumpur Sidoarjo ini disebut *mudflow*. Dampak yang ditimbulkan oleh adanya peristiwa *mudflow* khususnya lumpur Sidoarjo ini adalah adanya fenomena penurunan tanah/amblesan (*land subsidence*) di sekitar kawasan tersebut. Terletak di pemukiman padat penduduk, penurunan tanah/*land subsidence* menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (*land subsidence*) terjadi secara perlahan sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala (fungsi waktu). Pemantauan land subsidence dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan Global Navigation Satellite System (GNSS) khususnya Global Positioning System (GPS, satelit milik Amerika Serikat). Selain penggunaan GPS Geodetik dan CORS, penelitian ini digunakanlah perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Dari analisa hasil pengamatan di lapangan pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 terlihat adanya kenaikan tertinggi dan penurunan. Nilai penurunan terendah adalah -0,26709 m pada titik TTG 1307 dan kenaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14. Terdapat 14 titik yang mengalami penurunan tanah secara signifikan (TTG 1304, TTG 1305, TTG 1307, BPN PT01, BPN PT06, BT01, BT03, BW08, BW13, GEMPOL NEW, KD01, KJ01, BPN PT11, dan VK13), dan terdapat lima titik yang mengalami penurunan tanah bersifat tidak signifikan atau hanya bersifat numeris (BM ARTERI, KB01, BM MARITIM, VK09, dan VK14).

Kata Kunci: GAMIT/GLOBK, GPS, Lumpur Sidoarjo, Penurunan Tanah

Abstract

Natural events that occur in Indonesia are happened many times, because Indonesia's geographical location and the tectonic order that often trigger the events of nature. One of the events that took place in Indonesia was Sidoarjo mudflow. Sidoarjo mudflow or better known as Lapindo mudflow, is an event which occurs due to the emergence of hot mud and gas from Lapindo Brantas's drilling place at Balongnongo, Renokenogo village, Porong district, Sidoarjo, East Java. The impact of mudflow especially Sidoarjo mudflow is the phenomenon of land subsidence in those area. Situated in densely populated settlements, land subsidence is one factor which must be supervised. Land subsidence occurs slowly so that the analysis needs to be done periodically (function of time). Monitoring land subsidence can be done by several methods, one of them using the Global Navigation Satellite System (GNSS) especially Global Positioning System (GPS). In addition to GPS Geodetic and CORS, this study also using GAMIT/GLOBK scientific software. From the results of processing of GPS data observed from April to October 2016, obtained the lowest value of subsidence is -0.26709 metres at TTG 1307 and the highest value of uplift is 0,08758 metres at VK14. There are 14 points which are significantly declined and five points which are insignificantly declined or numerically declined.

Keyword : GAMIT/GLOBK, GPS, Land Subsidence, Sidoarjo Mudflow

PENDAHULUAN

Peristiwa alam yang terjadi di Indonesia banyak sekali terjadi, dikarenakan lokasi geografis Indonesia dan tatanan tektonik yang sering memicu peristiwa alam. Salah satu peristiwa alam yang terjadi di Indonesia adalah lumpur Sidoarjo.

Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas dari lokasi pengeboran PT. Lapindo Brantas di Dusun Balongnongo, Desa Renokenogo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Fenomena yang terjadi pada Lumpur Sidoarjo ini disebut *mudflow*. Dampak yang ditimbulkan oleh

adanya peristiwa *mudflow* khususnya Lumpur Sidoarjo ini adalah adanya fenomena penurunan tanah/amblesan (*land subsidence*) di sekitar kawasan tersebut, dimana adanya perubahan bertahap atau tiba-tiba amblesnya permukaan bumi diakibatkan pergerakan material bumi (Fulton, 2008).

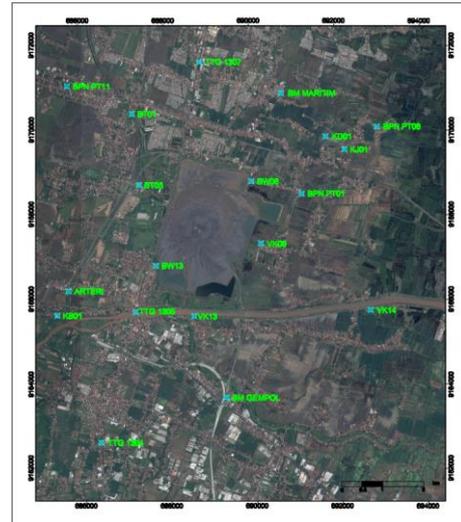
Terletak di pemukiman padat penduduk, penurunan tanah/*land subsidence* menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (*land subsidence*) terjadi secara perlahan sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala (fungsi waktu). Pemantauan *land subsidence* dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya menggunakan Global Navigation Satellite System (GNSS) khususnya Global Positioning System (GPS, satelit milik Amerika Serikat).

Penurunan tanah berubah dengan sangat minimalis sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan receiver GPS *handheld*, dikarenakan ketelitian alat yang berkisar hanya sampai satuan meter (m) saja. Penurunan tanah yang minimalis terjadi pada kawasan semburan lumpur Sidoarjo, sehingga perlu adanya metode dan alat yang mampu mendeteksinya (Hariyanto et al., 2006). Penggunaan receiver GPS Geodetik yang diikatkan ke *Continuously Operating Receiver Stations* (CORS) dapat meningkatkan ketelitian hingga milimeter (mm), sehingga memungkinkan untuk mendeteksi adanya penurunan tanah (Kurniawan, 2011).

Pemantauan penurunan tanah ini menggunakan GPS Geodetik yang diikatkan pada CORS ITS. Selain penggunaan GPS Geodetik dan CORS, penelitian ini digunakanlah perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Penelitian ini dilaksanakan di kawasan semburan Lumpur Sidoarjo dalam kurun waktu singkat April, Mei, Juni, dan Oktober 2016.

METODE

Lokasi penelitian ini dilakukan di kawasan semburan Lumpur Sidoarjo, di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur dengan posisi geografis terletak di 7° 29' 27.4" LS dan 112° 42' 41.2" BT hingga 7° 34' 20.7" LS dan 112° 41' 27.7" BT. dimana titik pengamatan penelitian telah ada sebelum penelitian ini direncanakan. Adapun lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 dibawah ini:



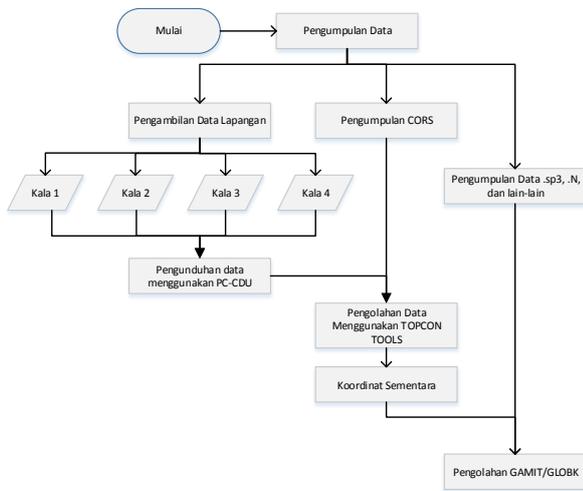
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Titik Penelitian

No	Titik	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)
1	TTG 1305	9165632.571	687353.256
2	BM ARTERI	9166189.336	685794.415
3	KB01	9165609.134	685536.074
4	BT03	9168700.914	687447.4
5	KD01	9169851.403	691807.688
6	TTG 1307	9171609.58	688853.545
7	BW08	9168790.104	690071.433
8	GEMPOL NEW	9163674.077	689495.353
9	BPN PT11	9171031.648	685757.057
10	BT01	9170380.985	687275.727
11	VK13	9165694.236	688738.874
12	TTG 1304	9162608.346	686567.102
13	BW13	9167524.652	687893.11
14	VK14	9166787.885	687841.642
15	BPN PT01	9168497.381	691253.008
16	VK9	9167322.055	690298.488
17	KJ01	9169550.273	692255.404
18	BPN PT06	9170081.978	693013.277
19	BM JL MARITIM	9170874.021	690767.116

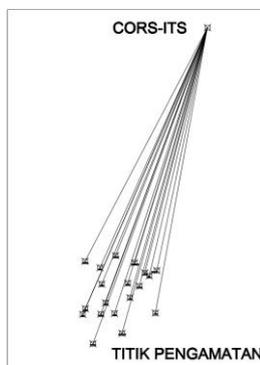
- Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
1. Data hasil pengamatan GPS yang didapat dari pengamatan di titik lokasi BM, dimana data diambil selama tiga-lima jam lamanya.
 2. Data CORS ITS sebagai titik ikat.
 3. Data *precise ephemeris* (.sp3).
 4. Data navigasi satelit (.N).

Diagram Alir Pengambilan Data



Gambar 2. Diagram Tahap Pengambilan Data

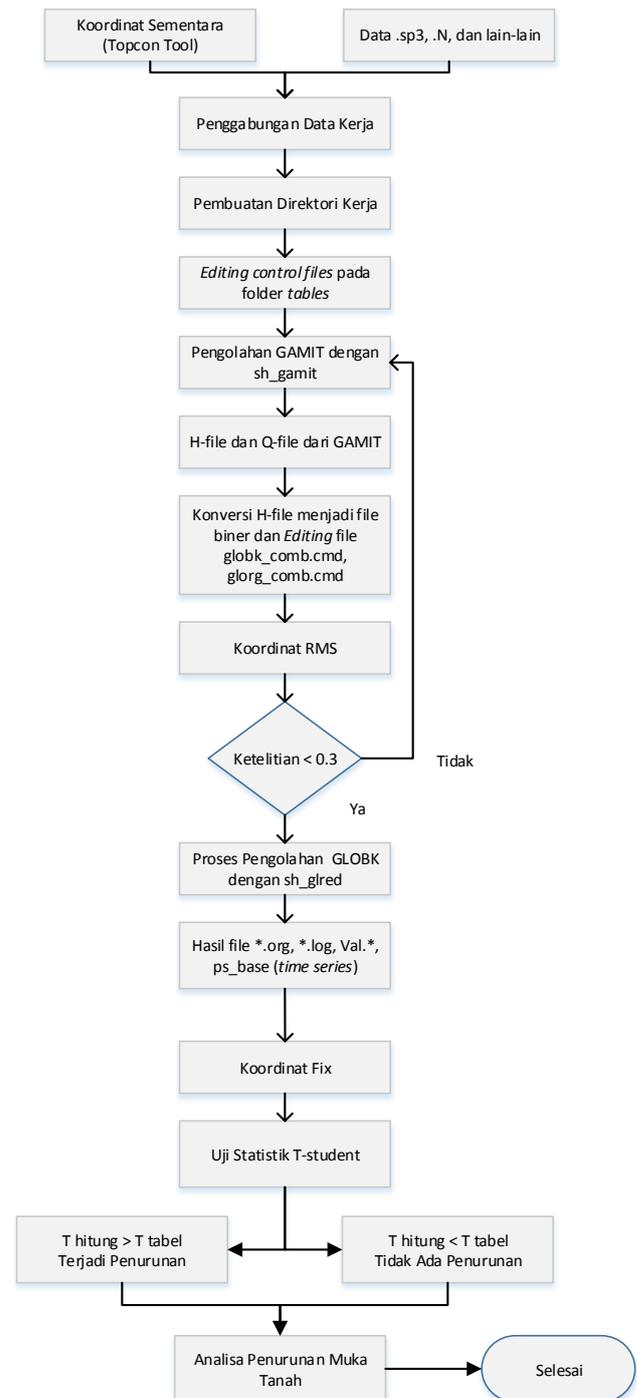
Pengumpulan data merupakan tahap awal untuk mempersiapkan data yang akan diolah, dalam hal ini data GPS yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan maupun data CORS sebagai titik ikat. Data pengamatan langsung di lapangan dilakukan sebanyak empat kala, yakni bulan April, Mei, Juni dan Oktober 2016. Setiap titik diamati selama tiga-lima jam. Pengamatan di lapangan dilakukan dengan mendirikan alat pada titik pengamatan, mengukur tinggi alat, dan menghidupkan alat. Data CORS ITS sebagai titik ikat didapat dengan kala mengikuti data pengamatan langsung di lapangan. Penelitian ini digunakanlah metode radial, dimana satu titik acuan (CORS ITS) digunakan untuk mengikatkan semua titik pengamatan. Adapun model radial pada penelitian ini dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 3. Model Radial Penelitian

Data pengamatan di lapangan (GPS Geodetik) diunduh melalui PC-CDU. Setelah data diunduh, perlu dilakukan ekspor data menjadi RINEX. Selain file RINEX yang akan diolah, terdapat file penunjang yang harus dimiliki sebelum dilakukan pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK.

Diagram Alir Pengolahan Data



Gambar 4. Diagram Tahap Pengolahan Data

Untuk melakukan pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja yang terletak pada direktori *home* (~). *Editing Control Files* merupakan tahapan untuk mengatur parameter dan skenario pengamatan dari perangkat lunak GAMIT sesuai yang telah direncanakan. Setelah semua data sudah terkumpul dan *control files* telah diatur, langkah berikutnya adalah melakukan perintah “sh_gamit” pada terminal linux. Untuk melanjutkan pengolahan dengan GLOBK *file* h-file hasil dari pengolahan GAMIT perlu dikonversi menjadi *file* biner begitu juga h-file global. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan GLOBK untuk mendapatkan perubahan koordinat secara *time-series*. Setelah terdapat koordinat dari GLOBK, perlu dilakukannya uji *t-student* dan analisa penurunan tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pengolahan data penelitian pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 menggunakan GLOBK:

Tabel 2. Koordinat Vertikal April, Mei, Juni, dan Oktober 2016

NO	Titik	Koordinat Vertikal Estimasi			
		Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)	Kala 4 (m)
1	TTG 1304	43.1865	43.2110	42.9462	42.9070
2	TTG 1305	38.9286	38.9308	38.8866	38.8655
3	TTG 1307	32.6170	32.3499	32.3556	32.2212
4	BM Arteri	35.5267	35.5949	35.4886	35.4787
5	BPN PT01	30.6911	30.6732	30.6418	30.6325
6	BPN PT06	30.3165	30.2766	30.2403	30.2385
7	BT01	32.2783	32.2610	32.2378	32.2100
8	BT03	32.4750	32.5026	32.3761	32.2201
9	BW08	31.4710	31.4381	31.4225	31.3856
10	BW13	33.4493	33.4383	33.4262	33.4106
11	BM Gempol New	34.2736	34.2415	34.2314	34.2081
12	KB01	35.6114	35.6851	35.5149	35.4904
13	KD01	30.6463	30.6392	30.6316	30.6250
14	KJ01	31.0328	31.0458	30.9289	30.9134
15	BM Maritim	31.5147	31.5414	31.4612	31.4403
16	BPN PT11	34.2264	34.2020	34.1753	34.1637
17	VK09	31.5714	31.6575	31.5226	31.5066
18	VK13	37.7827	37.7636	37.7321	37.7203
19	VK14	36.4608	36.5484	36.4479	36.4386

Penaikan/Penurunan Antar Kala Penelitian April, Mei, Juni, dan Oktober 2016

Setelah didapatkan koordinat estimasi fix dari pengolahan GLOBK, dilakukan pengamatan pada semua kala khususnya vertikal. Pengamatan antar kala bertujuan untuk melihat apakah ada penaikan maupun penurunan antara satu kala dengan kala lainnya, dengan kata lain melihat adanya vektor pergeseran vertikal. Adapun hasil penaikan/penurunan tanah antar kala yakni:

Tabel 3. Penaikan/Penurunan Antar Kala

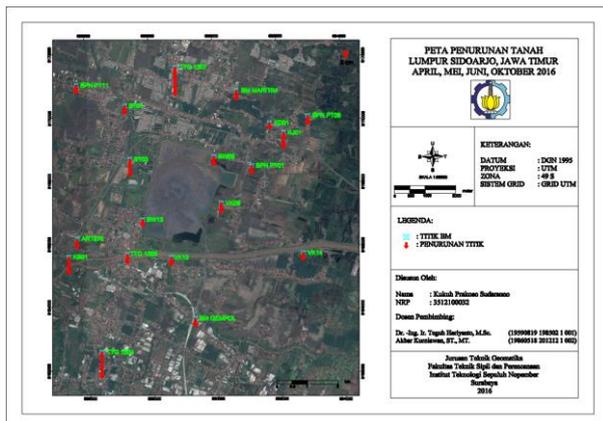
NO	Titik	Penaikan/Penurunan		
		Kala 1-2 (m)	Kala 2-3 (m)	Kala 3-4 (m)
1	TTG 1304	0.02452	-0.26482	-0.03921
2	TTG 1305	0.00211	-0.04418	-0.02107
3	TTG 1307	-0.26709	0.00576	-0.13442
4	ARTERI	0.06816	-0.10626	-0.00997
5	BPN 01	-0.01787	-0.03138	-0.00928
6	BPN 06	-0.03995	-0.0362	-0.00181
7	BT 01	-0.01735	-0.02312	-0.02781
8	BT 03	0.02759	-0.12646	-0.04601
9	BW 08	-0.0329	-0.01561	-0.03689
10	BW 13	-0.01098	-0.01207	-0.01561
11	GEMPOL NEW	-0.03208	-0.01008	-0.02333
12	KB 01	0.07375	-0.17018	-0.0245
13	KD 01	-0.0071	-0.0077	-0.00658
14	KJ 01	0.01302	-0.11695	-0.01546
15	BM MARITIM	0.02671	-0.08015	-0.02093
16	PT 11	-0.02434	-0.02674	-0.01154
17	VK 09	0.08612	-0.13495	-0.016
18	VK 13	-0.01903	-0.03156	-0.01176
19	VK14	0.08758	-0.10047	-0.00935

Terdapat hasil penaikan dan penurunan tanah pada keseluruhan antar kala. Pada kala 1-2, penurunan terkecil adalah -0,0110 m pada BW13 dan penurunan terbesar adalah -0,2671 m pada TTG 1307, sedangkan penaikan terkecil adalah 0,0021 m pada TTG 1305 dan terbesar adalah 0,0875 m pada VK14. Pada kala 2-3, penurunan terkecil adalah -0,0077 m pada KD01 dan terbesar adalah -0,2648 m pada TTG 1304, sedangkan penaikan hanya ada satu titik pada TTG 1307 dengan 0,0058 m. Pada kala 3-4, penurunan terkecil adalah -0,0018 m pada BPN PT06 dan terbesar adalah -0,1344 m pada TTG 1307.

Selain antar kala, pengamatan vektor pergeseran vertikal juga dilakukan pada seluruh kala (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016). Adapun hasil penaikan/penurunan tanah seluruh kala pada velo.org yakni:

Tabel 4. Penaikan/Penurunan Keseluruhan Kala

NO	Titik	Penaikan/Penurunan Kala 1-4 (m)
1	TTG 1304	-0.3309
2	TTG 1305	-0.0702
3	TTG 1307	-0.3543
4	ARTERI	-0.075
5	BPN 01	-0.0621
6	BPN 06	-0.081
7	BT 01	-0.0684
8	BT 03	-0.1683
9	BW 08	-0.0816
10	BW 13	-0.0384
11	GEMPOL NEW	-0.0621
12	KB 01	-0.1629
13	KD 01	-0.0216
14	KJ 01	-0.1425
15	BM MARITIM	-0.0909
16	PT 11	-0.0645
17	VK 09	-0.0987
18	VK 13	-0.0657
19	VK14	-0.0501



Gambar 5. Peta Penaikan/Penurunan Keseluruhan Kala

Dari data diatas, terdapat hasil penurunan tanah pada seluruh kala (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016). Penurunan tanah terkecil adalah -0,0216 m pada KD01 dan terbesar adalah -0,3543 m pada TTG 1307. Hasil tersebut mengindikasikan adanya kecenderungan terhadap penurunan tanah pada penelitian ini.

Uji Statistika

Setelah mengetahui variabel pergeseran vertikal titik pengamatan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, maka perlu pengujian statistik untuk melihat hasil pergeseran vertikal, apakah titik

tersebut benar-benar mengalami pergeseran (baik kenaikan atau penurunan) atau hanya bergeser secara numeris. Uji statistik yang digunakan adalah uji-t student. Uji statistik dilakukan dengan menguji variabel pergeseran titik (Pxy) dari kala pengamatan x ke kala pengamatan y yang nilainya dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{xy} = \sqrt{(du_{xy})^2}$$

Untuk standar deviasi dari setiap titik pengamatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Std P_{xy} = \sqrt{(sd du_{xy})^2}$$

Hipotesis nol yang dilakukan pada uji statistik ini adalah titik pengamatan tidak bergeser dalam selang waktu x dan y, sehingga:

- Hipotesis nol H0 : Pxy = 0
- Hipotesis alternatif H1 : Pxy ≠ 0

Kemudian dilakukan pengujian pergeseran vertikal titik pengamatan seperti berikut:

$$T = P_{xy}/Std P_{xy}$$

Pergeseran dinyatakan signifikan jika (Wolf & Ghilani, 2006)

$$T > t_{df, \alpha/2}$$

df (*degree of freedom*) adalah 3, karena df merupakan jumlah n dikurangi dengan satu. Dengan selang kepercayaan 90% dan melihat pada tabel *t-distribution*, nilai dari uji hipotesis signifikan adalah sebesar 2,35 (Mikhail & Gracie, 1981). Hasil berikut merupakan hasil uji statistik pada titik-titik pengamatan.

Tabel 5. Hasil Uji Statistika

Titik	Pxy	std Pxy	T	Pergeseran T>tdf (2.35)
TTG 1304	0.3309	0.1371	2.4142	iya
TTG 1305	0.0702	0.0279	2.5202	iya
TTG 1307	0.3543	0.1438	2.4637	iya
BM Arteri	0.075	0.0456	1.6438	tidak
BPN PT01	0.0621	0.0236	2.6338	iya
BPN PT06	0.081	0.0319	2.5431	iya
BT01	0.0684	0.0256	2.6697	iya
BT03	0.1683	0.0704	2.3894	iya
BW08	0.0816	0.0307	2.6571	iya
BW13	0.0384	0.0144	2.673	iya
BM Gempol New	0.0621	0.0235	2.6393	iya
KB01	0.1629	0.0778	2.0941	tidak
KD01	0.0216	0.008	2.6922	iya
KJ01	0.1425	0.0595	2.3943	iya
BM Maritim	0.0909	0.0405	2.2472	tidak
BPN PT11	0.0645	0.0243	2.6559	iya
VK09	0.0987	0.0588	1.6795	tidak
VK13	0.0657	0.0248	2.652	iya
VK14	0.0501	0.0437	1.1461	tidak

Dari hasil uji *t-student* diatas, terdapat 14 titik yang mengalami pergeseran signifikan dan lima titik yang tidak mengalami pergeseran signifikan.

Analisa Penurunan Tanah

Pengujian statistik pada titik pengamatan selama empat kala menghasilkan titik yang mengalami pergeseran secara signifikan maupun titik yang tidak mengalami pergeseran signifikan. Apabila ditinjau pada Gambar 1, terdapat satu fenomena yang terjadi. Fenomena tersebut adalah kenaikan/uplift titik dari kala pertama ke kala kedua. Pada titik pengamatan yang dinyatakan tidak signifikan, kenaikan/uplift titik dari kala pertama ke kala kedua cukup tinggi dan mengganggu uji statistik tersebut.

Terdapat faktor-faktor yang menyebabkan kenaikan/uplift pada pengamatan kala kedua dari kala pertama. Faktor tersebut adalah kondisi cuaca saat pengukuran. Hujan yang terjadi secara terus menerus menerpa pengamatan pada kala pertama dan kala kedua. Kondisi uap air yang cukup tinggi di troposfer membuat adanya jeda troposfer, dan koreksi matematis jeda troposfer menjadi lebih sulit dilakukan dibanding ketika cuaca saat cerah (Rabbany, 2012). Dari faktor cuaca kualitas data CORS ITS juga terpengaruh, karena disaat yang bersamaan CORS ITS terkendala hujan.

Dengan mengamati hasil pada penelitian April, Mei, Juni, dan Oktober 2016, terdapat beberapa titik yang mengalami penurunan tanah antar kala

cukup besar. Hasil tersebut diakibatkan oleh hal yang sama dengan alasan yang terjadi pada titik yang bergeser tidak signifikan. Jarak baseline antara CORS ITS dengan titik pengamatan di lapangan cukup jauh, berkisar 30 kilometer. Dengan jarak yang cukup jauh, hasil pengolahan titik memiliki presisi yang tidak sebagus jarak yang dekat (Okorochoa & Olajugba, 2014). Selain jarak baseline yang cukup jauh, penggunaan metode radial dalam pengamatan juga mempengaruhi hasil, dikarenakan metode radial memiliki ketelitian posisi yang lebih rendah dibanding menggunakan metode jaring (Abidin, 2007).

Hasil penghitungan penurunan tanah pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 perlu dilakukan perbandingan data. Untuk membandingkan penurunan tanah yang terjadi pada penelitian ini, perlu adanya data acuan yang ditautkan. Penelitian Imam Bukhori pada tahun 2011 dan Wisnu Pribadi pada tahun 2014 berlokasi di kawasan lumpur Sidoarjo dan sebagian besar berada pada titik yang sama dengan titik pada penelitian ini. Tidak semua titik pada penelitian ini dapat tertaut dengan penelitian sebelumnya, karena terdapat beberapa titik pada penelitian sebelumnya yang hilang dan digantikan dengan titik baru. Adapun titik penelitian ini yang dapat ditautkan dengan titik penelitian sebelumnya yakni:

- TTG 1304
- TTG 1305
- TTG 1307
- BPN PT06
- BT01
- BT03
- BW13
- BPN PT11
- VK09
- VK13
- VK14

Data penelitian yang ditautkan pada penelitian ini dijabarkan dibawah ini:

Tabel 6. Data Penelitian 2011

NO	Titik	2011 (Imam Bukhori)				
		Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)	Kala 4 (m)	Kala 5 (m)
1	TTG 1304	43.632	43.709	43.703	43.688	43.7
2	TTG 1305	39.341	39.409	39.414	39.392	39.38
3	TTG 1307	32.807	32.801	32.802	32.791	32.796
4	BPN PT06	31.045	31.051	31.043	31.023	31.078
5	BT01	32.842	32.836	32.779	32.828	32.764
6	BT03	33.082	33.09	33.074	33.03	33.021
7	BW13	33.924	33.995	33.983	33.93	33.95
8	BPN PT11	34.621	34.649	34.674	34.598	34.644
9	VK09	32.146	32.131	32.148	32.114	32.076
10	VK13	38.248	38.264	38.299	38.276	38.259
11	VK14	36.993	36.995	36.976	36.947	36.948

Tabel 7. Data Penelitian 2014

NO	Titik	2014 (Wisnu Pribadi)		
		Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)
1	TTG 1304	43.258	43.291	43.262
2	TTG 1305	38.992	39.024	39.049
3	TTG 1307	32.399	32.373	32.469
4	BPN PT06	30.497	30.577	30.351
5	BT01	32.285	32.373	32.355
6	BT03	32.727	32.696	32.705
7	BW13	33.482	33.534	33.535
8	BPN PT11	34.142	34.202	34.189
9	VK09	31.733	31.625	31.784
10	VK13	37.762	37.83	37.802
11	VK14	36.89	36.411	36.854

Dengan membandingkan penelitian sebelumnya dan penelitian ini, akan dihasilkan perbedaan yang berupa perubahan titik vertikal. Adapun perbandingan penelitian 2014 dengan penelitian 2016 yakni:

Tabel 8. Hasil Perbedaan Penelitian 2016 dengan 2014

NO	Titik	Perbedaan (m)
1	TTG 1304	-0.2322
2	TTG 1305	-0.1242
3	TTG 1307	-0.0513
4	BPN PT06	-0.216
5	BT01	-0.0945
6	BT03	-0.3051
7	BW13	-0.0891
8	BPN PT11	0.0108
9	VK09	-0.1566
10	VK13	-0.0513
11	VK14	-0.2511

Adapun perbandingan penelitian 2011 dengan penelitian 2016 yakni:

Tabel 9. Hasil Perbedaan Penelitian 2016 dengan 2011

NO	Titik	Perbedaan (m)
1	TTG 1304	-0.6360
2	TTG 1305	-0.4920
3	TTG 1307	-0.4260
4	BPN PT06	-0.7860
5	BT01	-0.5700
6	BT03	-0.6480
7	BW13	-0.5280
8	BPN PT11	-0.4500
9	VK09	-0.5700
10	VK13	-0.5280
11	VK14	-0.5040

Dari perbandingan antara penelitian sebelumnya (2011 dan 2014) dengan penelitian ini (2016), didapatkan perubahan titik vertikal. Pada perbandingan penelitian 2014 dengan penelitian 2016, perubahan berupa penurunan tanah terkecil adalah -0,0513 m pada TTG 1307 dan terbesar adalah -0,2511 m pada VK14, sedangkan perubahan berupa kenaikan tanah adalah 0,0108 m pada BPN PT11. Pada perbandingan penelitian 2011 dengan penelitian 2016, perubahan berupa penurunan tanah terkecil adalah -0,4260 m pada TTG 1307 dan terbesar adalah -0,7860 m pada BPN PT06.

Terdapat satu titik pada perbandingan penelitian 2014 dengan 2016 yang mengalami kenaikan, yakni BPN PT11. Penyebab titik mengalami kenaikan yakni hasil pengamatan pada titik BPN PT11 di penelitian 2014 memiliki hasil yang kurang bagus dilihat pada Gambar 7, sehingga apabila dibandingkan dengan penelitian ini (2016) maka hasilnya menjadi bias.

Secara keseluruhan, data penelitian 2016 yang dibandingkan dengan penelitian 2011 dan 2014 memiliki kecenderungan untuk turun, dibuktikan dengan hanya terdapat satu titik pada satu perbandingan yang mengalami kenaikan titik. Kecenderungan untuk turun ini disebabkan oleh lumpur yang terus menerus keluar tanpa henti pada pusat semburan. Fluida (semburan) yang keluar terus menerus dengan interval waktu yang panjang menyebabkan gaya apungan/*buoyancy* menurun dan menyebabkan terjadinya amblesan tanah (Chilingarian, 1995).

Penurunan tanah dapat dilihat dengan melakukan plotting titik penelitian menggunakan regresi linier. Data pengamatan tahun 2011 dan 2014 digabungkan dengan data penelitian ini (2016),

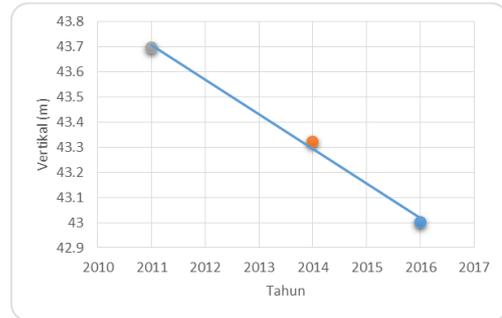
untuk dilakukan regresi linier. Regresi linier dilakukan untuk menentukan formula trendline yang terjadi. Adapun rumus regresi linier yakni:

$$Y = a + bX$$

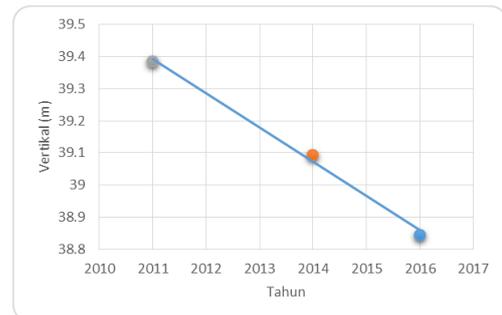
Setelah dilakukan regresi linier, didapatkan hasil vektor pergeseran vertikal dan *plotting* penurunan tanah berdasarkan data penelitian 2011, 2014, dan 2016. Adapun hasil vektor pergeseran vertikal penelitian 2011, 2014, dan 2016 yakni:

Tabel 10. Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016

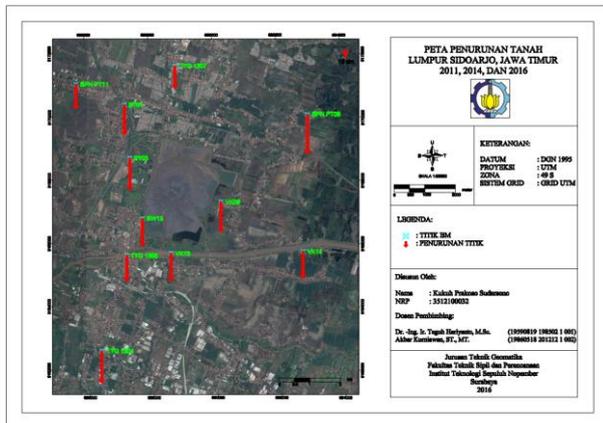
NO	Titik	Perbedaan (m)
1	TTG 1304	-0.6955
2	TTG 1305	-0.5395
3	TTG 1307	-0.481
4	BPN PT06	-0.871
5	BT01	-0.637
6	BT03	-0.702
7	BW13	-0.5915
8	BPN PT11	-0.5135
9	VK09	-0.624
10	VK13	-0.5915
11	VK14	-0.546



Gambar 7. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 TTG 1304



Gambar 8. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 TTG 1305



Gambar 6. Peta Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016

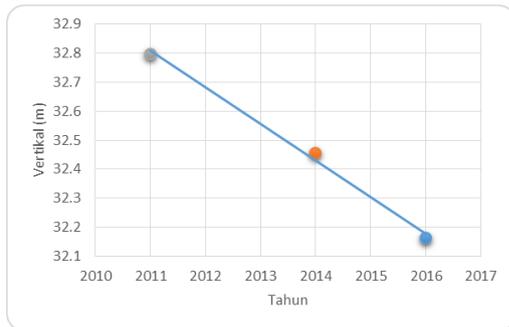
Adapun hasil *plotting* tersebut yakni:



Gambar 9. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 TTG 1307



Gambar 10. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 BPN PT06



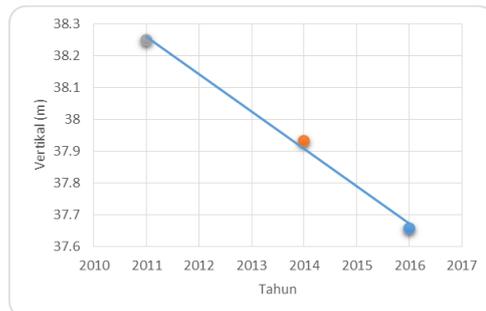
Gambar 11. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 BT01



Gambar 15. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 VK09



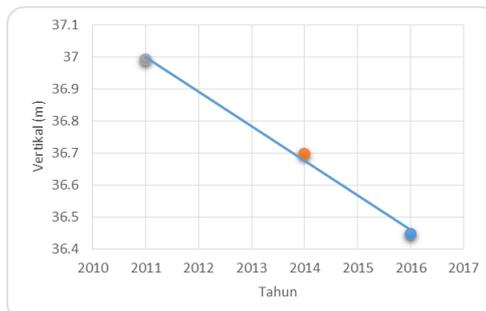
Gambar 12. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 BT03



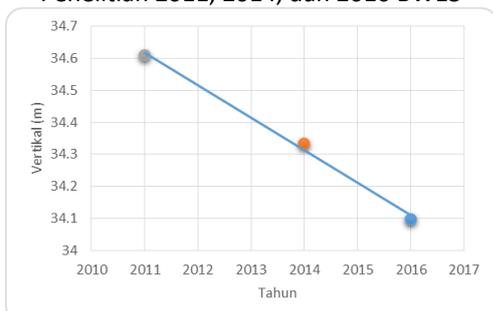
Gambar 16. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 VK13



Gambar 13. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 BW13



Gambar 17. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 VK14



Gambar 14. *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 BPN PT11

Dari hasil evaluasi penurunan tanah di kawasan lumpur Sidoarjo, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas hasil data. Faktor-faktor yang mempengaruhi penelitian ini secara umum yakni:

- Terdapat beberapa titik yang terhalang obyek seperti pohon dan lainnya, sehingga terjadi *mutipath*.
- Penggunaan metode radial, memiliki ketelitian yang lebih rendah dibandingkan metode jaring.
- Pengamatan yang kurang lama untuk pengamatan geodinamika (tiga-lima jam).
- Kondisi cuaca tidak menentu, acap kali terjadi hujan.

- Kondisi CORS ITS yang beberapa kali mati.
- Jarak CORS ITS ke titik pengamatan cukup jauh (>30 kilometer).
- Jumlah kala pengamatan yang kurang.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Hasil pengamatan di lapangan pada April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 terlihat adanya kenaikan tertinggi dan penurunan. Nilai penurunan terendah adalah -0,26709 m pada titik TTG 1307 dan kenaikan tertinggi adalah 0,08758 m pada titik VK14. Namun, apabila dilihat secara keseluruhan, titik pada penelitian 2016 ini cenderung untuk mengalami penurunan tanah, dimana kenaikan tanah hanya terjadi antara kala pertama dengan kala kedua saja.
- b. Terdapat 14 titik dimana pergeseran vertikalnya bersifat signifikan dan lima titik dimana pergeseran vertikalnya bersifat tidak signifikan (BM ARTERI, KB01, BM MARITIM, VK09, dan VK14).
- c. Apabila dibandingkan dengan penelitian 2011 dan 2014, penelitian ini memiliki kecenderungan untuk terjadi penurunan tanah, dikarenakan hasil perbandingan hanya terdapat satu titik yang mengalami kenaikan tanah yakni BPN PT11 antara penelitian 2016 dengan 2014 dengan 0,0108 m. Jika data penelitian 2011, 2014, dan penelitian 2016 ini diamati bersama, maka semua titik

mengalami penurunan tanah dengan tidak terdapat satu pun titik yang mengalami kenaikan, dimana nilai penurunan terendah adalah -0,871 m pada BPN PT06.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Chilingarian, G. V., et al. (1995). Subsidence due to Fluid Withdrawal. Amsterdam: Elsevier Science.
- Hariyanto, T, et al. (2006). Studi Penurunan Tanah dan Sebaran Area Genangan Lumpur untuk Pengolahan Bencana Di Wilayah Bencana Lumpur Porong Sidoarjo. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kurniawan, A. (2011). Evaluasi Penurunan Muka Tanah Di Wilayah Kota Surabaya dengan GAMIT/GLOBK. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mikhail, E. M. & Gracie, G. (1981). Analysis & Adjustment of Survey Measurement. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Okorocho, C. V. & Olajugba O. (2014). Comparative Analysis of Short, Medium, and Long Baseline Processing in the Precision of GNSS Positioning. Kuala Lumpur, Malaysia: FIG Congress 2014.
- Rabbany, A. E. (2002). Introduction to GPS: Global Positioning System. Massachusetts: Artech House.
- Wolf, P. R. & Ghilani, C. D. (2006). Adjustment Computations Spatial Data Analysis. New Jersey: John Wiley.