



TUGAS AKHIR - RG 141536

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

KUKUH PRAKOSO SUDARSONO
NRP 3512 100 032

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Akbar Kurniawan ST., MT.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

EVALUATING LAND SUBSIDENCE IN SIDOARJO MUDFLOW USING GEODETICS GPS AND GAMIT/GLOBK SOFTWARE

KUKUH PRAKOSO SUDARSONO
NRP 3512 100 032

Supervisor
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
Akbar Kurniawan ST., MT.

Geomatics Engineering Department
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

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

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

KUKUH PRAKOSO SUDARSONO
NRP. 3512 100 032

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.

NIP. 19590819 198502 001

Akbar Kurniawan ST., MT.

NIP. 19860518 201212 1002



SURABAYA, JANUARI 2017

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

Nama Mahasiswa : Kukuh Prakoso Sudarsono
NRP : 3512 100 032
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Pembimbing : 1. Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
2. Akbar Kurniawan ST., MT.

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

EVALUATING LAND SUBSIDENCE IN SIDOARJO MUDFLOW USING GEODETICS GPS AND GAMIT/GLOBK SOFTWARE

Name : Kukuh Prakoso Sudarsono
NRP : 3512 100 032
Departement : Geomatics Engineering, FTSP – ITS
Supervisor : 1. Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc.
2. Akbar Kurniawan ST., MT.

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 uses 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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul **“Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK”** dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian untuk tugas akhir penulis ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Bapak Ir. Heri Sudarsono dan Ibu Ir. Irin Prasetyowati, yang telah memberikan doa dan restu kelancaran pada penelitian ini.
2. Keluarga penulis, Ibu Soemijati G. Sajoko, Mbak Putri E. R. Sudarsono, Mas Rahardian Lingga, Mbak Monica Zetira, Reza Kurniawan, dan lain-lain.
3. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
4. Bapak Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc. dan Bapak Akbar Kurniawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran, serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA.,DESS selaku dosen wali penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah Bapak berikan.
6. Teman-teman @geoid12 selaku teman seangkatan penulis dan HIMAGE-ITS. Terima kasih atas segala persahabatan dan kasih yang telah teman-teman berikan kepada penulis selama empat tahun ini.
7. Teman-teman @KOPETOfficial SMPN 4 Surabaya (Eki, Isyroki, Adit, Rezha, Hegi, Reno, Ryan, Leo, Panji, Afief, Akbar, Fian, Sayed, Raranda, Sujat, dan Faisol), Manajemen

UA 2012 (Kemal, Aldi, dan Adrian), serta GI-TECH (Wawan, Yono, Ricko, Webie, dan Jack). Terima kasih atas waktu dan kesederhanaan teman-teman.

8. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LAMAN JUDUL.....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
HALAMAN PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Lumpur Sidoarjo.....	5
2.2. Penurunan Tanah (<i>Land Subsidence</i>).....	7
2.3. Global Navigation Satellite System (GNSS).....	12
2.4. Global Positioning System (GPS).....	12
2.4.1. Pengamatan dengan GPS.....	13
2.4.2. Penentuan Posisi dengan GPS.....	15
2.4.3. Penentuan Tinggi dengan GPS.....	18
2.4.4. Kesalahan dan Bias GPS.....	20
2.5. Pemantauan Penurunan Tanah dengan Satelit GPS....	28
2.6. GAMIT/GLOBK.....	31
2.7. Uji Hipotesis.....	34
2.8. Regresi Linier.....	35
2.9. Penelitian Terdahulu.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1. Lokasi Penelitian.....	39

3.2. Data dan Peralatan	41
3.2.1. Data.....	41
3.2.2. Peralatan	42
3.3. Metodologi Penelitian	44
3.3.1. Tahapan Penelitian	44
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1. Hasil Pengolahan Data Pengamatan GPS.....	57
4.2. Hasil Penaikan/Penurunan Tanah.....	61
4.3. Hasil Uji Statistika.....	68
4.4. Analisa Penurunan Tanah.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1. Kesimpulan.....	89
5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagaimana Sebuah <i>Subsidence</i> /Amblesan Terjadi	8
Gambar 2.2 Retakan Jalan Diakibatkan <i>Subsidence</i> /Amblesan	9
Gambar 2.3 <i>Subsidence</i> /Amblesan akibat Pengambilan Cairan Bawah Permukaan	10
Gambar 2.4 <i>Sinkholes</i> /Lubang Runtuhan Di Jalan Raya Bowling Green, Amerika Serikat	11
Gambar 2.5 Endapan Sedimen	11
Gambar 2.6 Ilustrasi Pengukuran <i>Pseudorange</i>	15
Gambar 2.7 Ilustrasi Pengukuran <i>Carrier Phase</i>	15
Gambar 2.8 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS	16
Gambar 2.9 Penentuan Posisi dengan GPS	17
Gambar 2.10 Tinggi Elipsoid dan Tinggi Orthometrik	18
Gambar 2.11 Penentuan Tinggi secara Diferensial	19
Gambar 2.12 <i>Selective Availability</i>	22
Gambar 2.13 Kesalahan Jam Satelit.....	23
Gambar 2.14 <i>Multipath</i>	24
Gambar 2.15 Efek Troposfer terhadap Sinyal GPS.....	27
Gambar 2.16 Cycle Slip	28
Gambar 2.17 Pengamatan Penurunan Tanah Menggunakan GPS	30
Gambar 2.18 Grafik regresi untuk nilai b positif (a) dan grafik regresi untuk nilai b negatif (b).....	36
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Berdasarkan Peta RBI.....	39
Gambar 3.2 Detail Titik Pengamatan Penelitian	40
Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian	45
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengumpulan Data	47
Gambar 3.5 Model Radial Penelitian	48
Gambar 3.6 Contoh RINEX	49
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Data.....	50
Gambar 3.8 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data.....	51
Gambar 4.1 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 1-2	63
Gambar 4.2 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 2-3	64

Gambar 4.3 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 3-4	65
Gambar 4.4 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 1-4	67
Gambar 4.5 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal 2016 dengan 2014	78
Gambar 4.6 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal 2016 dengan 2011	79
Gambar 4.7 Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016.....	82
Gambar 4.8 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1304	83
Gambar 4.9 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1305	83
Gambar 4.10 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1307	84
Gambar 4.11 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BPN PT06.....	84
Gambar 4.12 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BT01.....	85
Gambar 4.13 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BT03.....	85
Gambar 4.14 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BW13.....	86
Gambar 4.15 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BPN PT11.....	86
Gambar 4.16 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK09	87
Gambar 4.17 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK13	87
Gambar 4.18 <i>Plotting</i> Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK14	88

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Titik Pengamatan.....	40
Tabel 3.2 Spesifikasi GPS Topcon HiperPro	42
Tabel 4.1 Koordinat Akhir Kala 1	58
Tabel 4.2 Koordinat Akhir Kala 2.....	59
Tabel 4.3 Koordinat Akhir Kala 3.....	59
Tabel 4.4 Koordinat Akhir Kala 4.....	60
Tabel 4.5 Selisih Vertikal Antar Kala	62
Tabel 4.6 Selisih Vertikal Seluruh Kala.....	66
Tabel 4.7 Hasil Uji <i>T-test</i>	70
Tabel 4.8 Hasil Uji <i>T-test</i> Tidak Signifikan	72
Tabel 4.9 Fenomena Peningkatan Titik Kala 1-2.....	73
Tabel 4.10 Hasil Penelitian 2011 dan 2014.....	76
Tabel 4.11 Hasil Perbedaan Penelitian 2016 dengan 2014	77
Tabel 4.12 Hasil Perbedaan Penelitian 2016 dengan 2011	78
Tabel 4.13 Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016.....	78

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Control Files* GAMIT/GLOBK

Lampiran 2. *Plot Time-series* Stasiun Pengamat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

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. Sejak tanggal 29 Mei 2006 hingga sekarang, lumpur tidak berhenti keluar dan terus menyembur. Kerugian yang ditimbulkan oleh lumpur Sidoarjo ini berdampak pada 40000 orang dan materi sebesar 30 Triliun Rupiah (Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, 2007).

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. Menurut Fulton (2008), penurunan tanah/*land subsidence* adalah perubahan bertahap atau tiba-tiba amblesnya permukaan bumi diakibatkan pergerakan dari material bumi.

Lokasi lumpur Sidoarjo sendiri terletak di pemukiman padat penduduk. Karena terletak di pemukiman padat penduduk, penurunan tanah/*land subsidence* menjadi salah satu faktor yang harus diawasi. Penurunan tanah (*land subsidence*) terjadi secara perlahan (Hariyanto et al., 2006), 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).

GNSS atau *Global Navigation Satellite System* adalah sebuah konstelasi satelit, yang mentransmisikan sinyal berguna untuk aplikasi navigasi dan pemosisian, dimanapun di permukaan bumi. GPS atau *Global Positioning System* adalah sistem radio-navigasi seluruh dunia terdiri dari sebuah konstelasi 24 satelit dan titik dipermukaan yang diluncurkan oleh Amerika Serikat. Untuk mengetahui posisi di permukaan bumi, perlu menggunakan *receiver* GPS. *Receiver* GPS menawarkan penandaan lokasi dengan ketelitian yang cukup baik (m-cm). Namun, *land subsidence* berubah dengan sangat minimalis sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan *receiver* GPS *handheld*, dikarenakan ketelitian alat yang berkisar hanya sampai satuan meter (m) saja. Penggunaan *receiver* GPS Geodetik yang diikatkan ke *Continuously Operating Receiver Stations* (CORS) dapat meningkatkan ketelitian hingga millimeter (mm), sehingga memungkinkan untuk mendeteksi adanya *land subsidence* (Kurniawan, 2011).

Pemantauan penurunan tanah (*land subsidence*) ini menggunakan GNSS terutama GPS Geodetik yang diikatkan pada CORS ITS. Selain penggunaan GPS Geodetik dan CORS, penelitian ini menggunakan perangkat lunak GAMIT/GLOBK. GAMIT/GLOBK sendiri merupakan perangkat lunak pengolah data GPS buatan Massachusetts Institute of Technology (MIT) berbasis *scientific*.

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan semburan Lumpur Sidoarjo dalam kurun waktu singkat April, Mei, Juni, dan Oktober 2016. Diharapkan, penelitian ini dapat berguna sebagai data acuan untuk keperluan masyarakat luas khususnya kawasan semburan lumpur Sidoarjo. Terutama, apabila penurunan tanah secara signifikan yang dapat berakibat bergesernya struktur bangunan dan berpotensi merusak fasilitas umum (jalan, rel kereta api, tiang listrik, dan lain-lain).

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar penurunan tanah yang terjadi pada kawasan semburan lumpur Sidoarjo.
2. Apakah hasil pemantauan penurunan tanah tersebut merupakan penurunan tanah yang signifikan, dilihat dari uji hipotesis.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengambilan data dengan GPS dilakukan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo dengan titik berjumlah 19 titik.
2. Pengambilan data dengan GPS dilakukan selama empat kala, yakni bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016.
3. Pengambilan data elevasi setiap lokasi untuk mengetahui penurunan tanah di kawasan semburan lumpur Sidoarjo.
4. Pengolahan data dilakukan dengan perangkat lunak GAMIT/GLOBK.
5. Hasil dan analisa penelitian ini menitikberatkan pada pergeseran titik secara vertikal.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui besarnya penurunan tanah di kawasan semburan lumpur Sidoarjo menggunakan hasil pemantauan dengan GPS secara langsung.
2. Mengetahui analisis data penurunan tanah (dengan uji hipotesis) dari hasil pemantauan yang dilakukan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi besarnya penurunan tanah di kawasan semburan lumpur Sidoarjo.

2. Memberikan informasi analisis ada tidaknya penurunan tanah di kawasan semburan lumpur Sidoarjo dalam kurun waktu yang singkat (April, Mei, Juni, dan Oktober 2016) untuk berbagai keperluan semisal penelitian, mitigasi bencana dan keperluan rencana pembangunan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Lumpur Sidoarjo

Semburan Semburan lumpur panas di Desa Siring, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, berjarak sekitar 200 meter dari sumur pengeboran gas Banjar Panji 1 di Desa Renokenongo yang terjadi sejak tanggal 29 Mei 2006, telah berdampak sedemikian luas terhadap sendi-sendi kehidupan dan penghidupan masyarakat di sekitarnya. Volume lumpur yang keluar ke permukaan meningkat dari sekitar 5.000 m³/hari pada bulan Juni 2006 menjadi 50.000 m³/hari menjelang akhir tahun 2006, dan terus meningkat menjadi 100.000 – 180.000 m³/hari pada tahun 2007.

Semburan lumpur panas di Sidoarjo seperti digambarkan di atas merupakan fenomena geologi yang dikenal sebagai gunung lumpur (*mud volcano*), yakni keluarnya lumpur yang berasal dari lapisan bawah permukaan. Padatan lumpur yang keluar berasal dari formasi Kalibeng pada kedalaman sekitar antara 1.000 s/d 3.000 meter. Lumpur yang keluar di permukaan adalah campuran air, padatan, dan gas. Lumpur mempunyai temperatur sekitar 97° C di permukaan ketika diukur pada tahun 2006-2009.

Akan tetapi, yang membedakan gunung lumpur di Sidoarjo dengan gunung lumpur lainnya, baik yang ada di Jawa Timur maupun yang ada di dunia, adalah yang pertama suhu semburan sangat tinggi, yaitu sekitar 1.000° C di permukaan dekat dengan pusat semburan. Suhu lumpur yang tinggi tersebut memang belum pernah dijumpai di dunia. Kebanyakan semburan yang ada di dunia mempunyai suhu kamar (<400° C). Yang kedua adalah lumpur sangat kental, sehingga sulit untuk bergerak secara gravitasi. Komposisi lumpur adalah mineral lempung *smectite* yang kaya akan mineral silikat. Yang ketiga adalah semburan lumpur di Sidoarjo diikuti oleh deformasi geologi yang aktif. Yang keempat adalah secara dimensi, baik semburan maupun dampak

semburannya adalah sangat besar. Hal ini terutama semburan lumpur di Sidoarjo terjadi di tengah kota atau di pemukiman penduduk.

Peristiwa keluarnya material bawah permukaan secara besar-besaran dan dalam waktu lama seperti telah diterangkan di atas, menyebabkan kondisi batuan di bawah permukaan mengalami perubahan sifat, yaitu berkurangnya rapat massa formasi batuan sumber material padatan. Hal ini meningkatkan kerentanan formasi batuan tersebut untuk terjadinya penurunan tanah (*amblesan/subsidence*). Amblesan ini memiliki tingkat penurunan yang bervariasi sesuai jarak terhadap pusat semburan. Di pusat semburan amblesan mencapai 20 cm per hari, namun pernah terjadi sampai 300 cm. Di samping itu, rumah-rumah dengan radius 1.000 meter mengalami proses ambles yang mengarah ke pusat semburan, dan juga tanggul pengaman lumpur yang dibangun di Peta Area Terdampak.

Amblesan masih terus berlangsung, dan telah memberikan dampak luas bagi wilayah setempat. Amblesan tanah tersebut tidak pernah disadari di periode awal semburan terjadi, sekitar akhir Mei 2006. Saat itu semua orang berfikir bahwa semburan hanya sebuah kondisi biasa dari sebuah pelepasan tekanan dari bawah permukaan yang biasanya terjadi di daerah batuan yang mengandung hidrokarbon. Sehingga konsep penanganannya adalah pelepasan tekanan dengan memberi jalan sebanyak-banyak untuk pelepasan tekanan tersebut. Konsep ini diterapkan dengan melakukan pemboran pelepas tekanan dari beberapa titik di sekitar pusat semburan. Tetapi, ternyata konsep ini tidak berhasil, karena justru amblesan, dan yang lebih membuat pemboran ini tidak berhasil adalah terjadi pergeseran horizontal dari formasi batuan. Pergerakan horizontal dari formasi batuan mengakibatkan patahnya pipa pemboran pelepas tekanan. Pemboran pelepas tekanan ini dicoba dua kali, namun keduanya tetap tidak berhasil.

Bahaya akibat longsor gunung lumpur adalah tergesernya massa lumpur mendesak tanggul yang membatasi kolam lumpur, hal ini dapat terlihat pada titik P71 – P70 di utara, titik P21A –

P10D dibagian barat dan P80 di selatan. Menurut pengamatan, dalam tahun 2010 peristiwa longsornya lereng gunung lumpur telah terjadi sebanyak 18 kali dan mengakibatkan 2 (dua) buah kapal keruk di lokasi P43 terdesak material lumpur sejauh 100 m menuju P43 - P80 dan 2 (dua) buah kapal keruk di lokasi P25, sehingga perlu pembenahan sistem \pm 3 minggu.

Seperti telah diterangkan sebelumnya, fenomena geologi lainnya menyusul terjadinya semburan lumpur adalah deformasi geologi. Fenomena geologi ini adalah pergerakan formasi batuan secara lateral dan horizontal. Dampak dari deformasi geologi adalah retakan yang terjadi di permukaan yang kemudian diikuti oleh tembusan gas dan air di dalam maupun luar Peta Area Terdampak. Fenomena deformasi geologi ini menjadi kendala utama secara teknis dalam upaya penanggulangan semburan lumpur, sebagaimana yang telah dialami sebelumnya pada upaya penghentian semburan lumpur dengan *relief well*.

Deformasi geologi juga telah menyebabkan amblesan di sekitar pusat semburan, sehingga mengakibatkan perubahan diameter lubang pusat semburan. Saat ini lubang pusat semburan telah mencapai diameter 120 m, sedangkan saat pertama kali semburan muncul hanya berdiameter beberapa sentimeter saja. Pusat semburan sering berpindah-pindah, kadang terjadi tiga pusat semburan dalam waktu bersamaan, walaupun kemudian pusat semburan utama tetap pada satu lubang kepundan (Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo, 2010).

2.2. Penurunan Tanah (*Land Subsidence*)

Penurunan tanah (*land subsidence*) adalah perpindahan level atau tenggelamnya permukaan bumi dikarenakan pergerakan material bumi (Fulton, 2008). Penurunan tanah dapat diakibatkan oleh bertambahnya beban atau berkurangnya tekanan hidraulik pada lapisan tanah. Penambahan beban dapat terjadi akibat beban bangunan di atasnya maupun beban tanah itu sendiri atau hilangnya bouyansi (daya apung/angkat) tanah akibat hilangnya air dalam ruang antar pori sehingga tekanan efektif menjadi bertambah.

menyebabkan penurunan tanah antara lain sebagai berikut (Abidin, 2007):

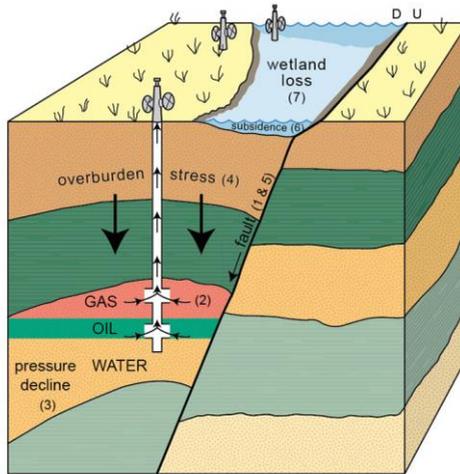
1. Pengambilan air tanah yang berlebihan
2. Penurunan karena beban bangunan (*settlement*)
3. Penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah
4. Penurunan karena gaya-gaya tektonik



Gambar 2.2 Retakan Jalan Diakibatkan *Subsidence*/Amblesan
(Sumber: Central Iron County Water Conservancy District, 2014)

Penarikan cairan bawah permukaan (air, gas, dan minyak) dengan skala besar selalu bersamaan dengan *subsidence*/amblesan (seperti Gambar 2.3) dimana menjadi beberapa bencana alam, apabila terjadi pada lokasi seperti kawasan residensial ataupun lingkungan industrial. Kerugian akibat hal tersebut dapat dipelajari dengan uji sampel batu reservoir dan cairan bawah permukaan, diikuti dengan simulasi matematis. Uji pendahuluan ini akan mengungkapkan lokasi dan jumlah pepadatan, dan kemungkinan adanya amblesan berikutnya, apabila cairan bawah permukaan diambil dengan jumlah tertentu. Penilaian kemungkinan ancaman terhadap lingkungan tersebut dapat dilakukan sebelum proses ekstraksi cairan bawah permukaan dilakukan. Jika prediksi tersebut terdapat potensi kerusakan lingkungan yang cukup parah, perlu dilakukan program injeksi air untuk menggantikan cairan

yang terdapat di bawah permukaan, atau proyek tersebut dihentikan.



Gambar 2.3 *Subsidence*/Amblesan akibat Pengambilan Cairan Bawah Permukaan
(Sumber: U. S. Geological Survey, 2016)

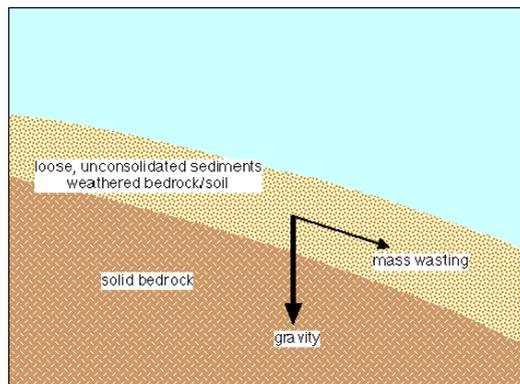
Penarikan cairan bawah permukaan menghasilkan amblesan dengan dua prinsip:

1. *Sinkholes*/lubang runtuh yang terkait dengan batuan karbonat,
2. Endapan sedimen yang tersimpan di lautan, lakustrin, dan aluvial.

Sinkholes/lubang runtuh adalah gua-gua besar yang penuh dengan endapan sedimen yang secara *buoyant* (gaya mengapung suatu materi di air) didukung oleh air tanah dangkal. Dukungan apungan akan hilang ketika permukaan air lebih rendah, seperti di banyak kasus amblesan dimana lokasi tersebut cukup kecil, dibawah 50 meter pada diameternya. Pilar tambang terbelengkalai yang terisi dengan endapan sedimen, dapat menimbulkan *subsidence*/amblesan permukaan yang serupa.



Gambar 2.4 *Sinkholes*/Lubang Runtuhan Di Jalan Raya Bowling Green, Amerika Serikat (Sumber: Waltham, 2005)



Gambar 2.5 Endapan Sedimen (Sumber: Long Island University, 2016)

Ada banyak metode tersedia untuk memantau penurunan tanah. Adapun metode untuk memantaunya yakni *vertical extensometer*, baseline dan pengukuran berulang menggunakan Global Positioning System (GPS) atau metode survey konvensional, dan *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR) (Fulton, 2008). Karena kecepatan penurunan tanah relatif lambat, maka pemantauan land subsidence sebaiknya dilakukan dengan rentang waktu atau periodik.

2.3. Global Navigation Satellite System (GNSS)

Sistem satelit navigasi global (GNSS) terdiri dari segmen antariksa, segmen pengendali dan segmen pengguna. Segmen antariksa (satelit) memancarkan sinyal navigasi terdiri dari konstelasi satelit dengan cakupan global. Fungsi satelit-satelit tersebut mengirim sinyal ke *receiver* yang dipasang di pesawat terbang, kapal laut, kendaraan bermotor dan manusia, untuk dapat menentukan posisi-posisi mereka.

Satelit navigasi mempunyai kemampuan untuk memberikan informasi tentang posisi lokal geografis dan sinkronisasi waktu dalam penggunaan sinyal *real-time* dari satelit navigasi yang mengorbit. Posisi yang ditentukan terdiri dari empat dimensi yaitu garis bujur, garis lintang, ketinggian, dan waktu (Borton, 2010). Satelit navigasi juga digunakan dalam berbagai sektor yaitu penelitian/survey, *precision farming*/ketelitian dalam pertanian, mendukung pencarian dan penyelamatan, ilmu kebumihan, manajemen transportasi, pergantian waktu yang tepat, manajemen/pelacakan/anti pencurian. Sistem GNSS terus berkembang dan kemudian juga digunakan dalam berbagai sektor, seperti pengangkutan, keamanan, pengawasan, dan industri.

Berbagai sistem GNSS yang telah dikembangkan antara lain: (i) GPS milik Amerika Serikat, dimana secara efektif telah menyediakan layanan global, (ii) Sistem GLONASS milik Rusia juga telah efektif menyediakan layanan global. Sedangkan sistem GNSS yang sedang dikembangkan adalah (i) Sistem Galileo milik Eropa yang dikembangkan Union Europe (UE) bekerjasama dengan ESA. Sistem navigasi regional Beidou dikembangkan negara Cina, (iii) Sistem navigasi IRNSS dikembangkan oleh India, dan (iv) QZSS akan dikembangkan oleh Jepang.

2.4. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah sistem navigasi berbasis satelit yang dikembangkan oleh US Department of Defense (DoD) di awal 1970-an. Pada awalnya, GPS dikembangkan sebagai sistem militer untuk memenuhi kebutuhan

militer Amerika Serikat. Namun lama setelah itu, akses tersebut dibuat tersedia untuk warga sipil dan sekarang menggunakan dual-sistem yang dapat diakses oleh pengguna militer dan sipil.

GPS menyediakan penentuan posisi secara terus-menerus dan informasi waktu, dimana saja di dunia dan di bawah semua kondisi cuaca. Karena, hal itu berfungsi pada pengguna dengan jumlah tidak terbatas serta digunakan untuk alasan keamanan, GPS adalah sistem *one-way-ranging* (pasif). Dalam hal ini, pengguna hanya dapat menerima sistem, komponen, dan ide dasar.

GPS terdiri dari tiga segmen: segmen ruang angkasa, segmen kontrol dan segmen pengguna. Segmen ruang angkasa terdiri dari 24 konstelasi satelit. Masing-masing satelit GPS mengirimkan sinyal, yang memiliki sejumlah komponen: dua gelombang sinus (juga dikenal sebagai frekuensi pembawa), dua kode digital dan pesan navigasi. Kode dan navigasi pesan ditambahkan ke operator sebagai biner modulasi dua-fase *binary*. Operator dan kode digunakan terutama untuk menentukan jarak dari alat pengguna ke satelit GPS. Navigasi pesan berisi, bersamaan informasi lain, koordinat (lokasi) satelit sebagai fungsi dari waktu. Sinyal yang ditransmisi dikendalikan oleh jam atom yang sangat akurat di dalam satelit GPS.

GPS telah merevolusi bidang survei dan navigasi sejak tahap awal pengembangan. Walaupun GPS ini awalnya dirancang sebagai sistem militer, aplikasi sipil telah tumbuh lebih cepat. Untuk masa ke depan, dikatakan bahwa jumlah aplikasi GPS akan terbatas hanya untuk satu bayangan (Rabbany, 2002).

2.4.1. Pengamatan dengan GPS

Pengamatan yang digunakan dalam penentuan posisi menggunakan GPS antara lain menggunakan *pseudorange*. *Pseudorange* adalah pengukuran dari jangkauan, atau jarak, antara *receiver* GPS dan satelit GPS. Cara lain untuk mengukur jangkauan ke satelit adalah dengan melalui *carrier phase/fase* pembawa. Jarak ini didapat dengan menjumlah total siklus pembawa penuh ditambah pecahan siklus pada *receiver* dan satelit, dikalikan dengan panjang

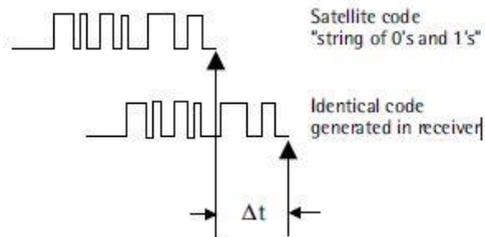
gelombang pembawa (Rabbany, 2002). Persamaan pada data pengamatan GPS melalui jarak semu (*pseudorange*) dan jarak fase (*phase range*) (Abidin, 2006):

$$P_i = \rho + d\rho + d_{trop} + d_{ion_i} + (dt - dT) + MP_i + \vartheta P_i \quad (2.1)$$

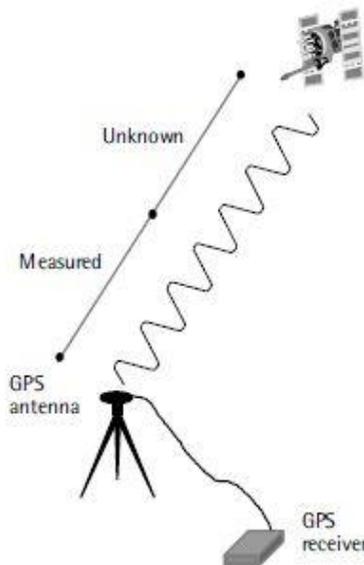
$$L_i = \rho + d\rho + d_{trop} - d_{ion_i} + (dt - dT) + MC_i - \lambda_i \cdot N_i + \vartheta PC_i \quad (2.2)$$

Dimana:

- P_i : *pseudorange* pada frekuensi f_i (m), (i=1,2)
- L_i : jarak fase pada frekuensi f_i (m), (i=1,2)
- ρ : jarak geometris antara pengamat dengan satelit
- c : cepat rambat gelombang
- λ : panjang gelombang
- $d\rho$: kesalahan jarak yang diakibatkan kesalahan orbit
- d_{trop} : bias yang disebabkan oleh refraksi troposfer (m)
- d_{ion} : bias yang disebabkan oleh refraksi ionosfer (m)
- dt, dT : kesalahan pada jam *receiver* dan jam satelit (m)
- $M P_i, M C_i$: efek *multipath* pada hasil pengamatan P_i dan L_i (m)
- N_1, N_2 : fase ambiguitas dari sinyal L1 dan L2 (dalam jumlah gelombang)
- $\vartheta P_i, \vartheta C_i$: gangguan (*noise*) dalam hasil pengamatan P_i dan L_i (m)



Gambar 2.6 Ilustrasi Pengukuran Pseudorange
(Sumber: Rabbany, 2002)

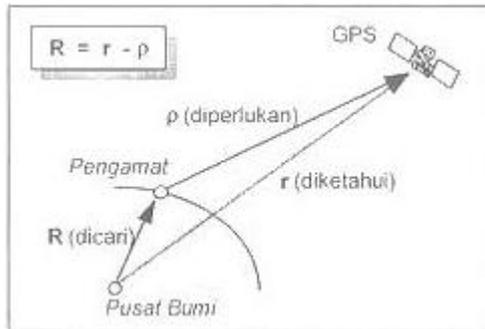


Gambar 2.7 Ilustrasi Pengukuran *Carrier Phase*
(Sumber: Rabbany, 2002)

2.4.2. Penentuan Posisi dengan GPS

Penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang dengan jarak, yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui). Secara vektor, prinsip dasar

penentuan posisi dengan GPS diperlihatkan oleh Gambar 2.8 dibawah ini. Parameter yang akan ditentukan adalah vektor posisi geosentrik pengamat (\mathbf{R}). Karena vektor posisi geosentrik satelit GPS (\mathbf{r}) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah vector posisi toposentris satelit terhadap pengamat (ρ).

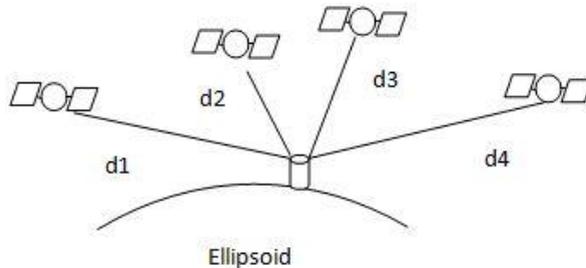


Gambar 2.8 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS
(Sumber: Abidin, 2006)

Pada pengamatan dengan GPS, yang bisa diukur hanyalah jarak antara pengamat dengan satelit dan bukan vektornya. Oleh sebab itu, rumus yang tercantum pada Gambar 2.8 tidak dapat diterapkan. Untuk mengatasi hal ini, penentuan posisi pengamat dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap beberapa satelit sekaligus secara simultan, dan tidak hanya terdapat satu satelit, seperti yang ditunjukkan pada gambar tersebut.

Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X, Y, Z) yang dinyatakan dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Dengan GPS, titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu receiver GPS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode *absolute (point) positioning*, ataupun titik yang telah diketahui koordinatnya

(*station reference*) dengan menggunakan metode *differential (relative) positioning* yang menggunakan minimal dua *receiver* GPS.



Gambar 2.9 Penentuan Posisi dengan GPS
(Sumber: Baskara, 2013)

Secara garis besar penentuan posisi dengan GPS ini dibagi menjadi dua metode yaitu metode *absolute* dan *relative*.

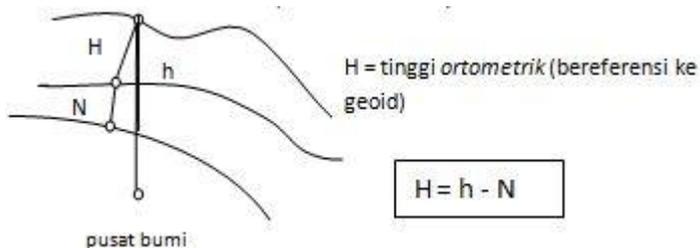
Metode *absolute* atau juga dikenal dengan *point positioning*, merupakan metode untuk menentukan posisi hanya berdasarkan pada satu pesawat penerima (*receiver*) saja dan tipe *receiver* yang digunakan untuk keperluan ini adalah tipe navigasi. Ketelitian posisi yang diperoleh sangat tergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri satelit. Metode ini tidak digunakan untuk penentuan posisi yang teliti. Aplikasi utama metode ini adalah untuk keperluan navigasi atau aplikasi-aplikasi lain yang memerlukan informasi posisi yang tidak perlu terlalu teliti tetapi tersedia secara instan (*real time*), seperti untuk keperluan *reconnaissance* dan *ground truthing*.

Metode *relative* atau sering disebut *differential positioning*, merupakan metode untuk menentukan posisi dengan menggunakan lebih dari sebuah *receiver*. Satu GPS dipasang pada lokasi tertentu di muka bumi dan secara terus menerus menerima sinyal satelit dalam jangka waktu

tertentu dijadikan sebagai referensi bagi yang lainnya. Metode ini menghasilkan posisi berketelitian tinggi (umumnya kurang dari 1 mm) dan diaplikasikan untuk keperluan survei geodesi ataupun pemetaan yang memerlukan ketelitian tinggi.

2.4.3. Penentuan Tinggi dengan GPS

Ketinggian titik yang diberikan oleh GPS adalah ketinggian titik di atas permukaan ellipsoid, yaitu ellipsoid WGS 84. Tinggi ellipsoid (h) tersebut tidak sama dengan tinggi orthometrik (H) yang umum digunakan untuk keperluan praktis sehari-hari yang biasanya diperoleh dari pengukuran sipat datar (*levelling*). Tinggi orthometrik suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas *geoid* diukur sepanjang garis gaya berat yang melalui titik tersebut, sedangkan tinggi *ellipsoid* suatu titik adalah tinggi titik tersebut di atas *ellipsoid* dihitung sepanjang garis normal ellipsoid yang melalui titik tersebut (Abidin, 2006).



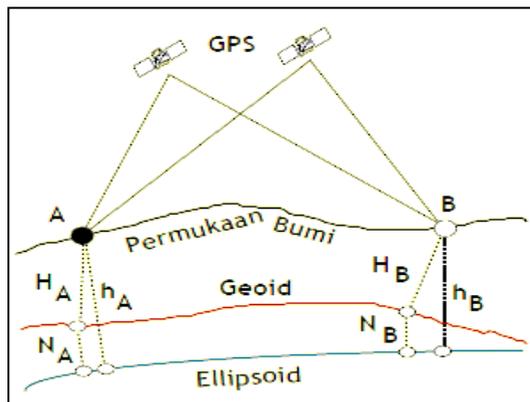
Gambar 2.10 Tinggi Ellipsoid dan Tinggi Orthometrik
(Sumber: Abidin, 2006)

Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti, transformasi tinggi GPS ke tinggi orthometrik umumnya dilakukan secara diferensial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Karena dh dapat ditentukan lebih teliti dibandingkan h , dan dN dapat ditentukan lebih teliti

dibandingkan N , maka dapat diharapkan bahwa dH yang diperoleh pun akan lebih teliti.

Karena tingkat fleksibilitas operasionalnya yang tinggi serta tingkat ketelitiannya yang relative cukup tinggi, dapat diperkirakan bahwa penentuan tinggi dengan GPS akan punya peran yang cukup besar di masa mendatang. Beberapa contoh aplikasi yang dapat dipertimbangkan adalah:

- Penentuan beda tinggi antar titik di kawasan yang sulit dilayani dengan pengukuran sipat datar, seperti kawasan pegunungan, rawa-rawa, dan daerah-daerah terpencil,
- Pemantauan perubahan beda tinggi antar titik (berguna untuk mempelajari deformasi struktur, pergerakan lempeng, survei rekayasa, dll.)
- Penentuan tinggi orthometrik titik (seandainya geoid yang diteliti diketahui),
- Penentuan geoid (seandainya tinggi orthometrik diketahui), dan
- Transfer datum tinggi antar pulau.



Gambar 2.11 Penentuan Tinggi secara Diferensial
(Sumber: Abidin, 2006)

Untuk mendapatkan hasil yang relatif teliti penentuan tinggi harus dilakukan secara differensial untuk mengeliminir kesalahan. Pada Gambar 2.11 adanya differensial tinggi N (dN) dan H (dh) dapat meningkatkan ketelitian yang ada. Karena ketelitian komponen tinggi yang ditentukan dengan GPS umumnya 2-3 lebih rendah dibandingkan komponen horizontalnya. Kadangkala bahkan 4-5 kali lebih rendah. (Abidin et al., 2005).

2.4.4. Kesalahan dan Bias GPS

Pengukuran *pseudorange* dan *carrier-phase* dipengaruhi oleh beberapa jenis kesalahan yang acak dan bias (sistematis kesalahan). Kesalahan ini dapat diklasifikasikan sebagaimana keduanya berasal di satelit, yang berasal pada penerima, dan yang disebabkan oleh propagasi sinyal (pembiasan atmosfer). Selain efek dari kesalahan ini, akurasi posisi GPS dipengaruhi oleh lokasi geometris dari satelit GPS seperti yang terlihat oleh *receiver*.

1. Kesalahan *Ephemeris* GPS

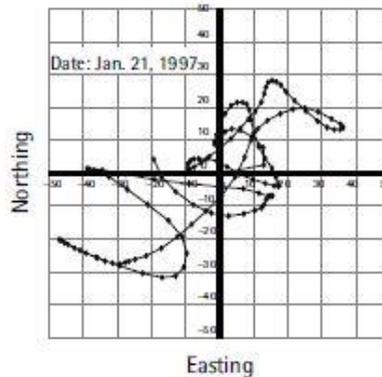
Pemodelan gaya yang bekerja pada satelit GPS secara umum tidak akan sempurna, yang menyebabkan beberapa kesalahan dalam perkiraan posisi satelit, dikenal sebagai kesalahan *ephemeris*. Secara jumlah, kesalahan *ephemeris* biasanya diantara 2 m sampai 5 m, dan dapat mencapai hingga 50 m di bawah *selective availability*. Menurut hal tersebut, kesalahan jarak yang diakibatkan efek gabungan dari *ephemeris* dan kesalahan jam satelit adalah dari 2,3 m. Namun dalam pengukuran posisi yang relatif, kesalahan jarak *baseline* dapat mencapai 2,5 mm.

Beberapa aplikasi, seperti studi tentang dinamika kerak bumi, memerlukan data

ephemeris lebih tepat daripada data *ephemeris* siaran. Untuk mendukung aplikasi ini, beberapa lembaga telah mengembangkan layanan orbital akurat *postmission*. Data *ephemeris* akurat ini didasarkan pada data GPS yang dikumpulkan di jaringan GPS global yang dikoordinasikan oleh IGS. Saat ini, data *ephemeris* akurat tersedia untuk pengguna dengan beberapa jeda, yang bervariasi dari 12 jam untuk orbit sangat cepat IGS hingga sekitar 12 hari untuk orbit akurat IGS yang paling akurat. Akurasi untuk dua orbit akurat adalah dalam beberapa desimeter ke satu desimeter.

2. *Selective Availability*

GPS pada awalnya didesain untuk tujuan militer Amerika Serikat (*military P-code receiver*), dan juga disediakan untuk sipil (*civilian C/A code receiver*) dengan ketelitian yang lebih rendah. Namun, akurasi yang diperoleh oleh kedua *receiver* tersebut sama. Untuk menjamin keamanan nasional, Departemen Keamanan Amerika Serikat mengimplementasikan *selective availability* (SA) di satelit GPS Blok II untuk menghilangkan tingkat akurasi ketelitian pada pengguna sipil. Dengan SA yang hidup, jumlah kesalahan horizontal dan vertikal mencapai 100 m dan 156 m. SA diperkenalkan dan diaktifkan pada 25 Maret 1990. Gambar 2.12 diperlihatkan bagaimana pengaruh hidupnya SA terhadap akurasi pengukuran.



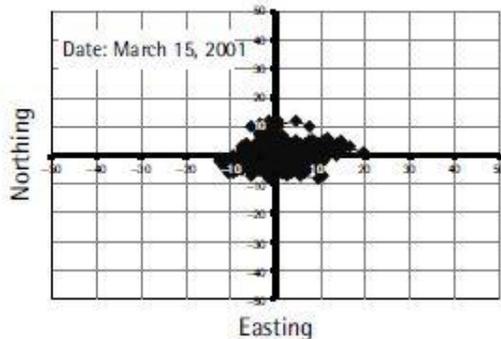
Gambar 2.12 *Selective Availability*
(Sumber: Rabbany, 2002)

Melalui kajian mendalam, pemerintah Amerika Serikat menghentikan SA pada 1 Mei 2000, menghasilkan akurasi GPS yang lebih baik. Dengan SA yang mati, jumlah akurasi horizontal dan vertikal GPS mencapai 22 m dan 33 m. Dengan penghapusan kebijakan SA, pasar GPS tumbuh semakin cepat.

3. Kesalahan Jam Satelit dan *Receiver*

Jam satelit GPS (Blok II dan II A) menggunakan bahan atomik (cesium dan rubidium), untuk generasi terbaru (IIR) menggunakan rubidium saja. Meskipun sangat akurat, tetap saja tidak sempurna. Stabilitas jam satelit GPS berada di 1 hingga 2 bagian di 10^{13} selama satu periode hari. Hal ini berarti, kesalahan jam satelit berada pada 8,64 hingga 17,28 nano detik per hari, dan menyebabkan kesalahan jarak 2,59 m hingga 5,18 m. Kesalahan tersebut dapat dikurangi dengan memasukkan koreksi jam satelit dan

mendiferensiasi *receiver* yang digunakan untuk mengukur. Gambar 2.13 menggambarkan bagaimana kesalahan jam satelit berpengaruh pada ketelitian pengukuran.

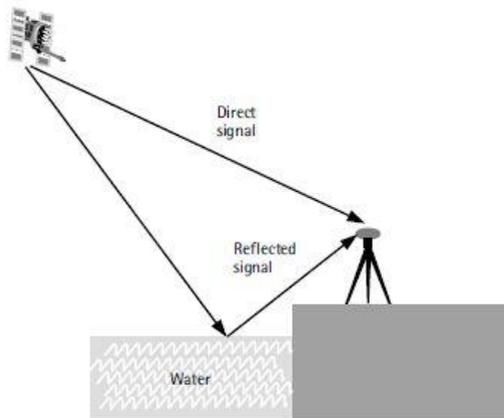


Gambar 2.13 Kesalahan Jam Satelit
(Sumber: Rabbany, 2002)

Berbeda dengan satelit GPS, *receiver* GPS menggunakan jam kristal yang memiliki akurasi lebih rendah dari jam satelit. Dari hal itu, kesalahan jam jauh lebih besar daripada kesalahan jam pada satelit GPS. Kesalahan tersebut dapat dikurangi dengan mendiferensiasi antara satelit atau dianggap sebagai parameter yang tidak diketahui (*unknown parameter*).

4. Kesalahan *Multipath*
Multipath adalah sumber kesalahan besar baik dari pengukuran *pseudorange* dan *carrier-phase*. Kesalahan *multipath* terjadi ketika sinyal GPS datang menuju antena *receiver* melalui jalur yang berbeda. Jalur itu dapat berupa garis lurus sinyal yang terlihat

dan sinyal yang terpantul dari obyek disekitar antenna *receiver*. Gambar 2.14 menjelaskan bagaimana *multipath* dapat terjadi. Beberapa antenna *receiver* masa kini dapat mengurangi *multipath* pada sinyal GPS.



Gambar 2.14 *Multipath*
(Sumber: Rabbany, 2002)

Salah satu cara untuk mengurangi kesalahan *multipath* adalah dengan penentuan lokasi pengukuran yang minim obstruksi. Obstruksi adalah obyek/benda yang dapat menghalangi sinyal untuk sampai ke antenna *receiver*, dengan sudut inklinasi dari *receiver* GPS. Adapun cara lain adalah dengan menggunakan antenna *chock ring*.

5. Variasi Pusat Fase Antena
Antena *receiver* GPS menerima sinyal satelit yang datang dan mengubah energinya menjadi tegangan elektrik, yang dapat dibaca oleh *receiver* GPS. Poin ketika sinyal GPS diterima disebut pusat fase antena. Pusat fase

antena berbeda dengan fisik (geometris) antena *receiver* GPS. Hal itu bervariasi bergantung pada ketinggian dan azimuth satelit GPS begitu pula dengan intensitas sinyal yang diukur. Sebagai hasilnya, kesalahan jarak tambahan dapat diprediksi.

Karena jumlah yang kecil, kesalahan ini diabaikan di hampir semua aplikasi GPS praktis. Namun, terdapat cara untuk mengurangi kesalahan ini. Pemilihan tipe antena dapat mengurangi kesalahan. Penggunaan frekuensi *single* dapat mengurangi kesalahan ini.

6. Kebisingan Pengukuran *Receiver*

Kebisingan pengukuran *receiver* dihasilkan dari pembatasan elektronik pada *receiver*. Sebuah GPS yang baik seharusnya memiliki level kebisingan yang rendah. Bagaimanapun, untuk sistem GPS akurat yang mahal, akan lebih penting bagi pengguna untuk melakukan evaluasi sistem. Dua tes dapat dilakukan untuk mengevaluasi *receiver* GPS (sistem): tes *zero baseline* dan *short baseline*.

Sebuah tes *zero baseline* digunakan untuk mengevaluasi performa *receiver*. Tes ini melibatkan penggunaan satu antena/penguat diikuti oleh pemecah sinyal yang memberi *receiver* GPS dua atau lebih. Beberapa masalah *receiver* seperti pembiasan *interchannel* dan dapat terdeteksi dengan tes ini. Sebagaimana satu antena yang digunakan, solusi *baseline* haruslah nol, dengan kata lain, adapun nilai selain nol dipasangkan ke kebisingan *receiver*. Walaupun tes ini

berguna dalam penginformasian performa *receiver*, namun tidak terdapat informasi kebisingan antena/penguat.

Untuk mengevaluasi performa lapangan sebenarnya pada sistem GPS, perlu diikutkannya komponen kebisingan antena/penguat. Tes ini dapat dilakukan dengan *short baseline* berkisar beberapa meter saja. Residu *double-difference* pada satu hari dapat mengandung kebisingan sistem dan efek *multipath*. Kesalahan lainnya dapat dihilangkan secara berkecukupan. Pendiferensiasi-an residual *double-difference* selama dua hari berturut-turut dapat menghilangkan *multipath* dan hanya meninggalkan kebisingan sistem.

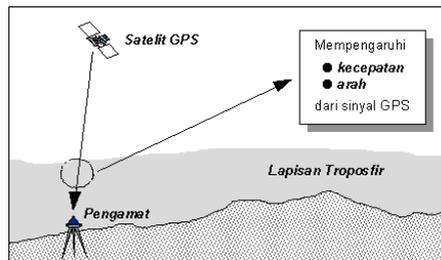
7. Bias Ionosferik

Ionosfer merupakan bagian dari lapisan atas atmosfer dimana terdapat sejumlah elektron dan ion bebas yang mempengaruhi perambatan gelombang radio. Sinyal GPS memancarkan sinyalnya ke *receiver* melewati ionosfer, akibatnya ion-ion tersebut akan mempengaruhi propagasi sinyal satelit terutama pada kecepatan sinyal.

Untuk mereduksi kesalahan bias ionosfer, hal-hal yang dilakukan adalah:

- Menggunakan data GPS dari dua frekuensi, L1 dan L2
- Melakukan pengurangan (*differencing*) data pengamatan
- Memperpendek panjang *baseline*
- Melakukan pengamatan pada pagi atau malam hari

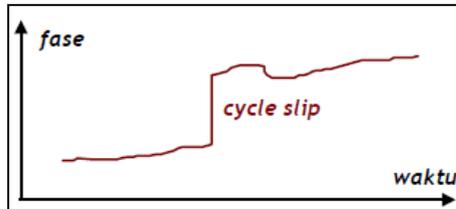
- Menggunakan model ionosfer (model *Bent* atau *Klobuchar*)
 - Menggunakan parameter koreksi yang dikirimkan oleh sistem WADGPS (*Wide Area Differential GPS*)
8. Bias Troposferik
- Sinyal dari satelit GPS untuk sampai ke antenna harus melalui lapisan troposfer, yaitu lapisan atmosfer netral yang berbatasan dengan permukaan bumi dimana temperatur menurun dengan membesarkan ketinggian. Lapisan troposfer mempunyai ketebalan sekitar 9 sampai 16 km, tergantung dengan tempat dan waktu. Ketika melalui troposfer, sinyal GPS akan mengalami refraksi, yang menyebabkan perubahan pada kecepatan dan arah sinyal GPS. Efek utama dari troposfer berpengaruh pada kecepatan, atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak.



Gambar 2.15 Efek Troposfer terhadap Sinyal GPS
(Sumber: Abidin, 2006)

Gambar 2.15 menjelaskan adanya lapisan troposfer dimana mempengaruhi kecepatan dan arah dari sinyal GPS yang ditangkap *receiver*. Akibat dari hal tersebut, adanya data yang mengganggu dan mengurangi ketelitian.

9. *Cycle Slip*
Cycle slip merupakan ketidak-kontinyuan dalam jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena sinyal ke *receiver* terputus pada saat pengamatan sinyal.



Gambar 2.16 *Cycle Slip*
 (Sumber: Abidin, 2006)

Gambar 2.16 menjelaskan terjadinya *cycle slip*. Ada beberapa hal yang bisa membuat *Cycle slip* pada saat pengamatan, antara lain:

- Mematikan dan menghidupkan *receiver* dengan sengaja.
- Terhalangnya sinyal GPS akibat terhalang pohon atau bangunan.
- Pengaruh aktivitas ionosfer dan *multipath*
- Adanya kerusakan di dalam *receiver* sehingga tidak dapat menerima gelombang secara penuh

2.5. Pemantauan Penurunan Tanah dengan Satelit GPS

Sejak pengembangan pertamanya, GPS telah digunakan secara sukses untuk mengamati stabilitas struktur, sebuah aplikasi yang membutuhkan akurasi ketelitian tinggi. Beberapa contoh didalamnya termasuk pemantauan deformasi bendungan, jembatan

dan menara televisi. Pemantauan *subsidence*/amblesan tanah lahan minyak dan area penambangan adalah contoh lain di mana GPS telah berhasil digunakan. Dalam beberapa kasus, GPS dapat dilengkapi dengan sistem lain seperti INS atau *Total Station* untuk bekerja lebih efisien. Pemantauan penurunan tanah dilakukan dengan mengambil pengukuran GPS atas area yang sama pada interval waktu yang berbeda.

Penurunan tanah pada strukur yang cenderung lambat seperti bendungan memerlukan ingkat akurasi mencapai milimeter untuk memantau penurunannya. Dengan Satelit GPS dan *Receiver* GPS masa kini, serta dengan model perataan matematis, penurunan dapat terlihat dengan baik sehingga dapat dibuat analisa penurunan tanah yang informatif (Rabbany, 2002).

Pada metode ini, beberapa titik yang ditempatkan pada beberapa lokasi yang dipilih, secara periodik ditentukan koordinatnya secara teliti dengan menggunakan metode survai GPS (Abidin, 2006). Dengan mempelajari pola dan kecepatan perubahan koordinat dari titik-titik tersebut dari survai yang satu ke survai berikutnya, maka karakteristik penurunan tanah akan dapat dihitung dan dipelajari lebih lanjut.

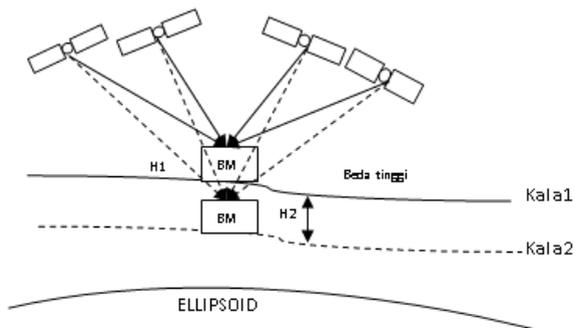
Perlu dicatat di sini bahwa dalam studi penurunan tanah dengan metode survey GPS, ada beberapa keunggulan dan keuntungan yang ditawarkan, yaitu seperti yang dijelaskan pada butir-butir berikut (Abidin, 2006):

1. GPS memberikan nilai vektor deformasi dalam tiga dimensi (dua komponen horisontal dan satu komponen vertikal). Untuk penurunan tanah, yang perlu dipantau adalah komponen vertikalnya.
2. GPS memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan muka tanah) dalam suatu sistem koordinat referensi yang tunggal. Dengan itu maka GPS dapat digunakan untuk memantau deformasi (dan penurunan tanah) suatu wilayah secara regional secara efektif dan efisien.
3. GPS dapat memberikan nilai vektor deformasi (dan penurunan tanah) dengan tingkat presisi sampai beberapa

mm, dengan konsistensi yang tinggi baik secara spasial maupun temporal. Dengan presisi yang tinggi dan konsisten ini maka diharapkan besarnya deformasi (dan penurunan tanah) yang kecil sekalipun akan dapat terdeteksi dengan baik.

4. GPS dapat dimanfaatkan secara kontinyu tanpa tergantung waktu (siang maupun malam), dalam segala kondisi cuaca. Dengan karakteristik semacam ini maka pelaksanaan survai GPS untuk studi deformasi (dan penurunan tanah) dapat dilaksanakan secara efektif dan fleksibel.

Prinsip pemantauan penurunan tanah dengan GPS adalah menempatkan titik pantau di beberapa lokasi yang dipilih, dilakukan secara kontinyu sehingga dapat ditentukan koordinat titik pantau tersebut secara teliti. Dari pengamatan GPS, data yang akan diperoleh adalah berupa koordinat titik pantau dan waktu. Dengan melakukan pengamatan secara periodik, perubahan posisi suatu titik pantau dapat diidentifikasi dengan melihat adanya perubahan nilai koordinat titik pantau dari waktu ke waktu.



Gambar 2.17 Pengamatan Penurunan Tanah Menggunakan GPS
(Sumber: Bukhori, 2011)

Untuk mendapatkan nilai penurunan tanah adalah dengan menentukan beda tinggi masing-masing pengukuran. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\Delta H = H_{n+1} - H_n \quad (2.3)$$

Dimana :

ΔH : beda tinggi antar kala

H_{n+1} : tinggi titik pada kala ke n+1

H_n : tinggi titik pada kala ke n

2.6. GAMIT/GLOBK

GAMIT/GLOBK adalah alat analisa GPS komprehensif yang dikembangkan di Massachusetts Institute of Technology (MIT), Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA), Scripps Institution of Oceanography (SIO), dan Australian National University untuk perhitungan koordinat stasiun dan kecepatan, representasi stokastik atau fungsional dari deformasi pasca seismik, jeda atmosferik, orbital satelit, dan parameter orientasi Bumi. Walaupun sekarang perangkat lunak ini dikelola oleh tiga orang dari MIT, banyak orang telah memberikan sumbangsih dalam perangkat lunak ini.

Untuk mengontrol pengolahan perangkat lunak ini, GAMIT menggunakan skrip *C-shell* (disimpan di `/com` dan biasanya dinamai untuk memulai dengan `sh_`) dimana memicu *FORTRAN* atau program *C* yang terkompilasi di `/libraries`, `/gamit`, dan direktori `/kf`. Perangkat lunak ini didesain untuk jalan dibawah sistem operasi UNIX apapun yang mendukung X-Windows; pengembang juga mengimplementasi versi sejauh ini untuk LINUX, Mac OS-X, HP-UX, Solaris, IBM/RISC, dan DEC. Logika parameter mengizinkan maksimum hingga 99 titik lokasi namun distribusi standar adalah terbatas untuk 60 titik lokasi sejak efisiensi yang lebih besar didapatkan untuk jaringan besar oleh pengolahan paralel dengan subnet terkoneksi. Pengolahan IGS di MIT termasuk 300 titik lokasi, dan pengolahan di New Mexico Tech untuk North

American Plate Boundary Observatory mencapai 1000 titik lokasi (Herring, 2010).

GAMIT menggabungkan algoritma kuadrat terkecil gaya berat untuk mengestimasi posisi relatif dari sekumpulan stasiun, orbital dan parameter rotasi Bumi, jeda zenith, dan ambiguitas fase dengan mencocokkan ke pengamatan fase diferensiasi dua kali. Sejak model fungsional (matematis) berkaitan pengamatan dan parameter adalah non-linear, GAMIT membuat dua solusi, pertama yakni mendapatkan koordinasi dalam desimeter, dan yang kedua yakni mendapatkan estimasi akhir (Herring, 2010). Gamit membutuhkan delapan macam input data, antara lain:

1. *Raw* data dari data pengamatan GPS
2. *L-File* berisi koordinat dari semua stasiun pengamatan atau titik ikat yang digunakan. Koordinat yang digunakan menggunakan koordinat geosentrik.
3. File *station.info*, berisi informasi stasiun-stasiun
4. File *session.info*, berisi sesi data yang akan diolah. Informasi yang tercantum antara lain (tahun, *doy*, sesipengamatan, *sampling rate*, banyak epok, dan nomor-nomor satelit). File juga dapat di buat dengan perintah *makexp* dari GAMIT.
5. File Navigasi, berupa RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), *Navigation Messages* maupun *ephemeris* yang disediakan IGS.
6. File *settbl*, memuat *control table* mengenai karakteristik proses yang dieksekusi oleh GAMIT.
7. File *sittbl*, digunakan untuk memberikan konstrain pada setiap stasiun pengamatan yang digunakan.
8. File GPS *precise ephemeris* yang didapat dari IGS dalam format *sp3*.

Hasil akhir dari proses pengolahan data pengamatan GPS dengan perangkat lunak GAMIT adalah sebagai berikut :

1. *q-file*, memuat semua informasi hasil pengolahan data pengamatan GPS dengan GAMIT yang disajikan dalam dua versi *Biasses-free Solution* and *Biass-fixed Solution*.
2. *h-file*, berisi pengolahan dengan *Lossely Constraint Solutions* yang berupa parameter-parameter yang digunakan berupa matriks varian kovarian pada pengolahan lanjutan dengan GLOBK (*Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*)
3. *Autcln.summary-file*, yang terdiri atas file *autcln.prefit.sum* dan *autcln.post.sum*. kedua file tersebut berisi data statistic hasil editing dengan *autcln*.

GLOBK (Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program) adalah perangkat lunak pemfilter data dengan metode kalman filter, yang bertujuan untuk menggabungkan solusi dari pengolahan data primer dari geodesi satelit atau pengukuran terestris. Pengolahan diterima sebagai data (quasi observation) yang terkait dengan matriks kovarian untuk koordinat titik, parameter rotasi bumi, parameter orbit, dan posisi titik yang dihasilkan dari analisis observasi.

Ada tiga fungsi yang biasa dijalankan di dalam GLOBK, yaitu (Herring, 2010):

- a. Mengombinasikan hasil pengolahan harian untuk menghasilkan koordinat stasiun rata-rata dari pengamatan yang dilakukan lebih dari satu hari.
- b. Melakukan estimasi koordinat stasiun dari pengamatan harian yang digunakan untuk menggeneralisasikan data runtun waktu (*time series*) dari pengamatan teliti harian atau tahunan.
- c. Mengombinasikan sesi pengamatan individu dengan koordinat stasiun dianggap stokastik, hasilnya adalah koordinat *repeatibilities* untuk mengevaluasi tingkat ketelitian pengukuran harian atau tahunan.

2.7. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah dugaan yang sering digunakan sebagai dasar pembuatan keputusan untuk dasar penelitian lebih lanjut. Dalam lingkup lebih spesifik, hipotesis dapat disebut sebagai hipotesis statistik, dimana hipotesis statistik adalah suatu anggapan atau pernyataan, yang, mungkin benar atau tidak, mengenai satu populasi atau lebih (Myers & Walpole, 1995). Suatu pengujian hipotesis statistik adalah prosedur yang memungkinkan keputusan dapat dibuat, yaitu keputusan untuk menerima atau menolak hipotesis yang sedang diuji. Struktur pengujian hipotesis akan dirumuskan dengan menggunakan istilah hipotesis nol. Hal ini menyatakan setiap hipotesis yang ingin diuji dinyatakan H_0 . Penolakan H_0 akan membawa pada penerimaan suatu hipotesis tandingan, dinyatakan H_1 . Suatu hipotesis nol mengenai parameter populasi akan selalu dinyatakan sedemikian rupa, sehingga parameter tersebut memiliki nilai secara tepat, sedangkan hipotesis tandingan memungkinkan beberapa nilai.

Uji hipotesis memiliki beberapa ragam, salah satunya adalah uji- t . Uji- t adalah jenis pengujian statistik untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistik. Uji- t pada dasarnya menunjukkan seberapa jauh pengaruh satu variabel bebas secara individual dalam menerangkan variasi variabel terikat. Uji ini dapat dilakukan dengan membandingkan t hitung dengan tabel distribusi t . Pada penelitian ini digunakanlah uji- t , dikarenakan jumlah sampel yang ada (titik pengamatan) kurang dari 30 (19 titik) dan simpangan baku dari data tidak diketahui.

Adapun langkah-langkah dalam penyusunan uji- t tersebut antara lain:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Hipotesa nol} & : \quad H_0 : \mathbf{DH}_{i,j} = 0 \\
 \text{Hipotesa tandingan} & : \quad H_1 : \mathbf{DH}_{i,j} \neq 0 \\
 \text{Uji statistik} & : \quad t = \frac{\Delta dh_{ij}}{\partial(\Delta dh_{ij})} \qquad (2.4)
 \end{array}$$

H_0 = titik tidak mengalami perubahan

H_1 = titik mengalami perubahan

Uji statistik dengan uji-*t*, hipotesa akan ditolak bila (Ghilani & Wolf, 2006)

$$|t| > t_{df,\alpha/2} \quad (2.5)$$

dimana *df* merupakan derajat kebebasan, dan α adalah derajat kesalahan.

H_0 diterima, jika $t_{hitung} \leq t_{tabel}$

H_0 ditolak, jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Dari uji hipotesis tersebut dapat disimpulkan apabila nilai t_{hitung} lebih kecil atau daripada t_{tabel} maka hipotesis H_0 diterima yang artinya titik tersebut tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila t_{hitung} lebih besar daripada t_{tabel} maka titik tersebut mengalami perubahan baik dalam bentuk inflasi atau deflasi

2.8. Regresi Linier

Analisis regresi adalah suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi dimasa yang akan datang berdasarkan informasi yang sekarang dimiliki agar memperkecil kesalahan (Riduwan & Sunarto, 2007). Regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik. Model regresi dimanfaatkan untuk melakukan prediksi terhadap variabel terikat.

Dalam penelitian ini digunakanlah regresi linier, dimana analisis regresi linier sederhana adalah hubungan secara linier antara satu variabel independen (*X*) dengan variabel dependen (*Y*). Analisis ini untuk mengetahui arah hubungan antara variabel independen dengan variabel dependen apakah positif atau negatif dan untuk untuk memprediksi nilai variabel independen mengalami kenaikan atau penurunan. Berikut ini merupakan rumus regresi linier (Sudjana, 2002) :

$$Y = a + bX \quad (2.6)$$

Y = Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)

X = Variabel independen

a = Konstanta (nilai *Y* apabila *X* = 0)

b = Kemiringan garis (perubahan rata-rata pada y untuk setiap unit perubahan pada variable bebas x)

Nilai b dapat positif (+) ataupun negatif (-). Berikut ini adalah grafik dari nilai b :



(a)

(b)

Gambar 2.18 Grafik regresi untuk nilai b positif (a) dan grafik regresi untuk nilai b negatif (b)

Untuk nilai dari konstanta (a) dan koefesien regresi (b) dapat ditentukan melalui rumus berikut:

$$b = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad (2.7)$$

$$a = \frac{\Sigma Y - b \cdot \Sigma X}{n} \quad (2.8)$$

2.9. Penelitian Terdahulu

Bukhori (2011), melakukan penelitian dalam penurunan tanah di sekitar lumpur Sidoarjo dengan menggunakan GPS yang tersebar di 18 titik yang berbeda disekitar lumpur Sidoarjo. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan besar penurunan dan kenaikan tanah yang terjadi di sekitar lumpur Sidoarjo dengan metode polinomial. Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran GPS sebanyak lima kala selama masing-masing enam jam, menggunakan model radial, dan diikatkan ke CORS ITS. Dari pengukuran GPS tersebut, didapatkan bentuk grafik polinomial yang dapat diketahui apakah terjadi kenaikan atau penurunan

(*uplift* atau *subsidence*) di sekitar lumpur Sidoarjo. Terdapat delapan titik yang mengalami *uplift*/penaikan dan 10 titik yang mengalami *subsidence*/penurunan. Penurunan tanah terbesar adalah -0,018 m dan penaikan tanah terbesar adalah 0,012 m. Untuk nilai rata-rata, penurunan terbesar adalah -0,012 m dan penaikan terbesar adalah 0,006 m.

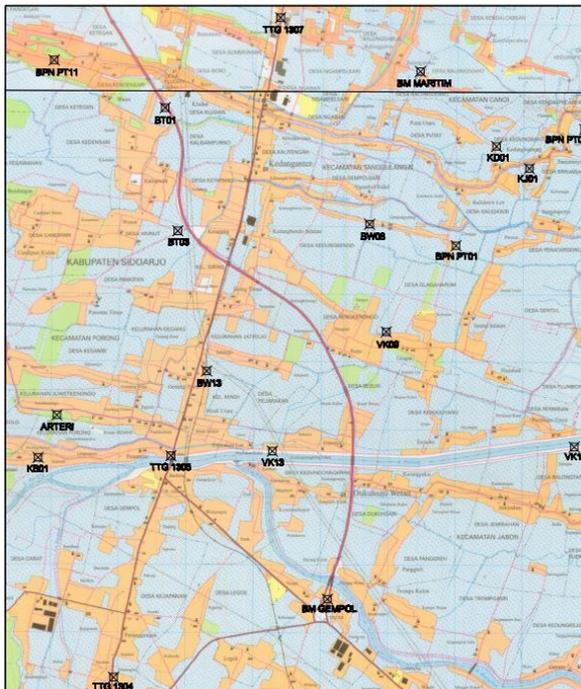
Pribadi (2014), melakukan penelitian dalam penurunan tanah di sekitar lumpur Sidoarjo dengan menggunakan GPS yang tersebar di 20 titik yang berbeda disekitar lumpur Sidoarjo. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan besar penurunan dan penaikan tanah yang terjadi di sekitar lumpur Sidoarjo dengan metode regresi linier. Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran GPS sebanyak tiga kala selama masing-masing enam jam, menggunakan model radial, dan diikatkan ke CORS ITS. Dari pengukuran tersebut, didapatkan bentuk grafik regresi linier yang dapat diketahui apakah terjadi penaikan atau penurunan di sekitar lumpur Sidoarjo. Terdapat enam titik yang mengalami penurunan/*subsidence* dan 14 titik yang mengalami penaikan/*uplift*. Penurunan tanah terkecil pada kala kedua adalah -0,06 m dan penaikan tanah tertinggi adalah 0,171 m. Hasil kurang valid pada satu titik (VK14), karena mengalami penurunan hamper 50 cm. Penurunan tanah terkecil pada kala ketiga adalah -0,057 m dan penaikan tanah tertinggi adalah 0,076 m.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

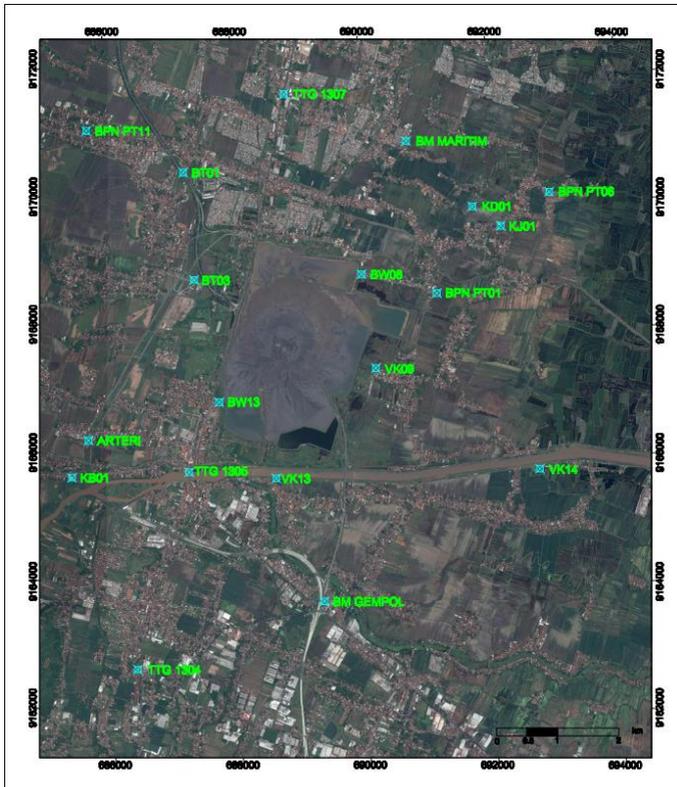
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di kawasan semburan lumpur Sidoarjo, di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Adapun geografis lokasi penelitian ini terletak di $7^{\circ} 29' 27.4''$ LS dan $112^{\circ} 42' 41.2''$ BT hingga $7^{\circ} 34' 20.7''$ LS dan $112^{\circ} 41' 27.7''$ BT. Pengamatan dilakukan sebanyak empat kala, yakni bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016. Adapun titik pengamatan penelitian telah ada sebelum penelitian ini direncanakan.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Berdasarkan Peta RBI



Gambar 3.2 Detail Titik Pengamatan Penelitian

Tabel 3.1 Titik Pengamatan

NO	Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)
1	ARTERI	9166189,335	685794,415
2	BM MARITIM	9170874,020	690767,119
3	BPN PT01	9168497,384	691252,988
4	BPN PT06	9170081,966	693013,238

5	BT01	9170380,984	687275,709
6	BT03	9168700,897	687447,380
7	BW13	9166787,897	687841,648
8	BW8	9168790,116	690071,440
9	GEMPOL NEW	9163674,068	689495,363
10	KB01	9165609,139	685536,054
11	KD01	9169851,392	691807,649
12	KJ01	9169550,266	692255,381
13	BPN PT11	9171031,648	685757,057
14	TTG1304	9162608,333	686567,069
15	TTG1305	9165632,567	687353,263
16	TTG1307	9171609,598	688853,577
17	VK09	9167322,061	690298,464
18	VK13	9165694,220	688738,855
19	VK14	9165749,586	692869,520

3.2. Data dan Peralatan

3.2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

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)

3.2.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Perangkat Keras
 - *Desktop PC Core i3 3.5 GHz, Memory 8.0 GB, VGA Nvidia GT 730, Hard Drive 1.5 TB*
 - *Notebook Compaq Core i3 2.0 GHz, Memory 2.0 GB, VGA Intel Chipset, Hard Drive 500 GB*
 - *Printer*
 - *3 set Receiver GPS Geodetic – Topcon HiPer Pro Dual Frequency*

Tabel 3.2 Spesifikasi GPS Topcon Hiper Pro

Spesifikasi	
Deskripsi	40 channel terintegrasi dengan GPS + receiver/antena dengan antarmuka MINTER
Spesifikasi Pelacakan	
Saluran Pelacakan, standar	40 L1 GPS (20 GPS L1 + L2 pada hari Cinderella)
Saluran Pelacakan, opsional	20 GPS L1 + L2 (GD), GPS L1, GLONASS (GG),
Sinyal yang dilacak	L1/L2/ C/A and P Code & Carrier and GLONASS
Spesifikasi Hasil	
Statik, Rapid Statik	H : 3 mm + 0.5 ppm V : 5 mm + 0.5 ppm
RTK	H : 10 mm + 1 ppm V : 15 mm + 1 ppm
Spesifikasi Daya	

Baterai	<i>Internal Lithium-Ion batteries</i> , bertahan sampai 14+ jam operasi (10 hrs TX)
Daya eksternal	6 volt untuk DC
Daya yang digunakan	Kurang dari 4.2 watt
Spesifikasi Antena GPS	
Antena GPS/GLONASS	Terintegrasi
Spesifikasi Antena GPS	
Bidang tanah	Terintegrasi datar dengan bidang tanah
Antena radio	<i>Center-mount UHF Antenna</i>
Spesifikasi Radio	
Tipe radio	Internal Tx/Rx UHF (rentang frekuensi yang dipilih)
Daya yang dikeluarkan	1.0W/0.25W (dapat dipilih)
Komunikasi Nirkabel	
Komunikasi	Bluetooth™ versi 1.1 comp
I/O	
Port komunikasi	2x serial (RS232)
Selain sinyal I/O	1 pps, <i>Event maker</i>
Status indikator (minter)	4x3-LED berwarna, Tombol dua fungsi
Kontrol dan unit display	<i>External Field Controller</i>
Memori & Rekaman	
Memori internal	Sampai dengan 128 MB
Laju pembaharuan data	Sampai dengan 20 kali per detik (20 Hz)
Data Input/Output	
<i>Real time data output</i>	RTCM SC104 ver 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, CMR, CMR+

ASCII output	NMEA 0183 version 3.0
Output lainnya	Format TPS
Laju output	Sampai dengan 20 kali per detik (20 Hz)
Spesifikasi Suasana	
Lapisan	<i>Aluminum extrusion, waterproof</i>
Temperatur saat beroperasi	-30°C sampai 55°C
Dimensi	W: 159 x H: 172 x D: 88 mm/ 6.25 x 6.75 x 3.5 in
Berat	1.65 kg/ 3.64 lbs
Deskripsi	40 channel terintegrasi dengan GPS + <i>receiver</i> /antenna dengan antarmuka MINTER

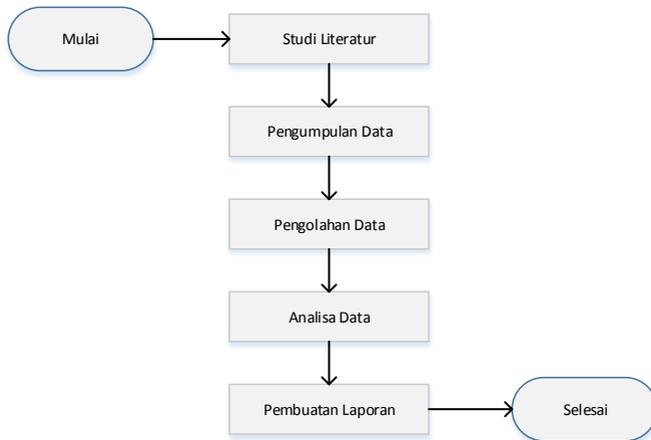
2. Perangkat Lunak

- Sistem operasi Windows 7 dan Ubuntu 15.04
- Software pengolah dokumen dan data
- GAMIT/GLOBK

3.3. Metodologi Penelitian

3.3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan dari penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Sebelum sebuah penelitian dikerjakan, peneliti harus menguasai materi ataupun dasar-dasar dari bidang yang teliti. Pengumpulan literatur mengenai GPS, CORS, GAMIT/GLOBK, dan penurunan tanah akan membantu proses pengerjaan penelitian ini. Literatur yang digunakan dalam bentuk buku, jurnal ilmiah, konferensi resmi, majalah, publikasi media, internet, dan lain-lain.

2. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian. Data yang diperlukan adalah data pengamatan lapangan menggunakan GPS Geodetik dan data pendukung (data CORS, data *prechise ephemeris*, data navigasi satelit, dan lain-lain). Data pengamatan lapangan diambil di lokasi penelitian pada bulan April, Mei, Juni, dan Oktober 2016 dengan rincian satu bulan satu kali pengamatan. Tahap

pengumpulan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.4.

3. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah diperoleh dari lapangan dan data pendukung untuk selanjutnya dilakukan analisa. Tahap pengolahan data lebih lanjut dijelaskan pada Gambar 3.6.

4. Analisa Data

Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisa penurunan tanah yang terjadi di kawasan semburan lumpur Sidoarjo.

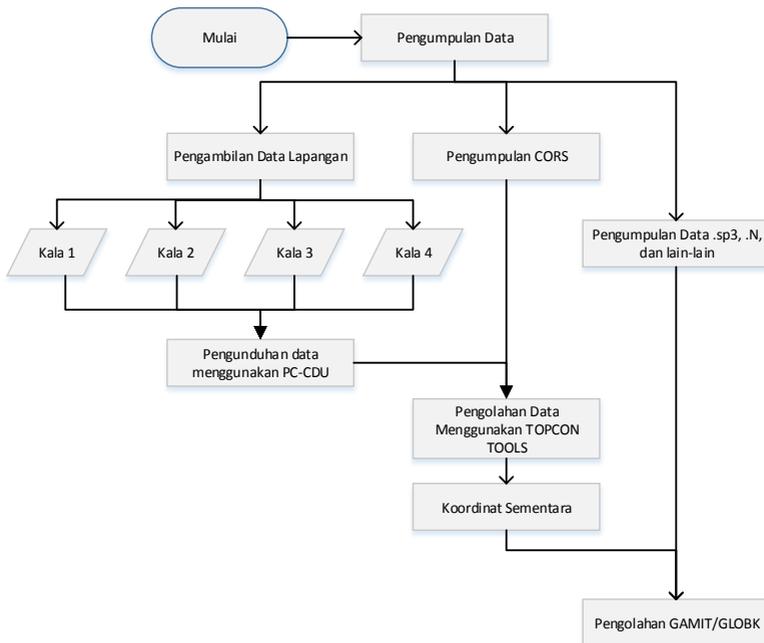
5. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, dilakukanlah penulisan laporan dari semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

3.4. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.7. Penjelasan diagram alir tahap pengolahan data adalah sebagai berikut:

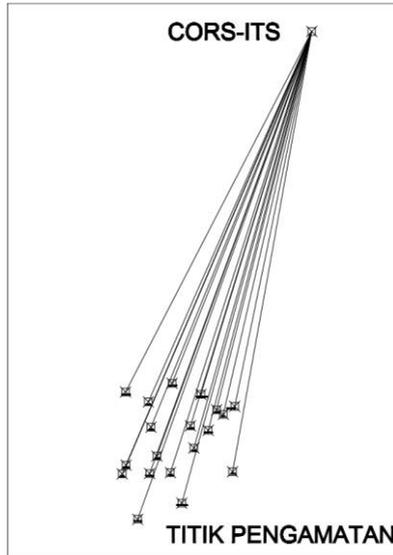
1. Pengumpulan Data



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengumpulan 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 pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Model Radial Penelitian

Data pengamatan di lapangan (GPS Geodetik) diunduh melalui PC-CDU, perangkat bawaan TOPCON TOOL. Data pengamatan yang telah diunduh dan data CORS diolah menggunakan TOPCON TOOL sehingga menghasilkan koordinat sementara.

Pengolahan menggunakan TOPCON TOOL memerlukan *dongle* bawaan alat, supaya mampu mengolah dengan titik diatas lima (titik penelitian ini berjumlah 19 titik). Hasil dari pengolahan ini adalah posisi titik pengamatan. Karena data ini merupakan data yang hanya bisa dibuka di TOPCON TOOL dan adanya pengolahan lanjut menggunakan perangkat lunak yang berbeda, maka perlu dilakukan ekspor data menjadi RINEX (*Receiver*

Independent Exchange Format). Adapun langkah dalam pengolahan data pengamatan di TOPCON TOOL yakni:

- a. Membuat pekerjaan baru, dengan jalan *New Job*
- b. Melakukan penyetelan *Job Configuration*
- c. Mengimpor data yang telah diunduh dari *receiver*
- d. Mengubah nama titik yang sama menjadi nama yang sama
- e. Mengekspor data kedalam format RINEX

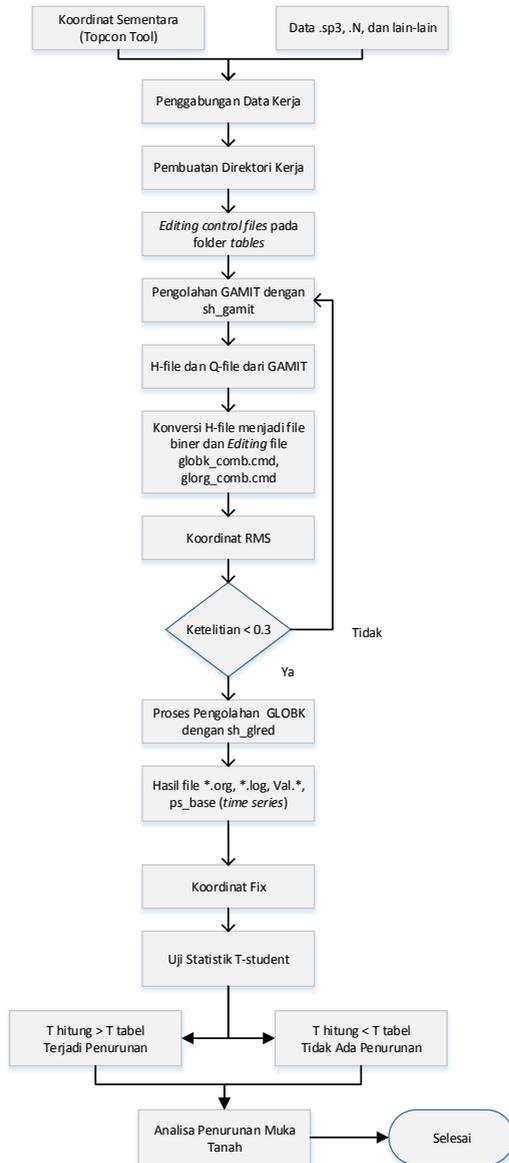
```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
Topcon Tools 8.2.3 02-DEC-15 20:31 PGH / RUN BY / DATE
build November 09, 2012 by (c) Topcon Positioning Systems COMMENT
TENNIS MARKER NAME
-Unknown- -Unknown- -Unknown- MARKER NUMBER
8PPN37VZ8CG Topcon OBSERVER / AGENCY
-Unknown- -Unknown- REC # / TYPE / VERS
-2451108.2643 5832966.5075 -803292.7851 ANT # / TYPE
0.0000 0.0000 0.0000 APPROX POSITION XYZ
1 1 1 ANTENNA: DELTA H/E/N
2015 11 19 10 7 45.00000000 GPS WAVELENGTH FACT L1/2
2015 11 19 16 33 5.00000000 GPS TIME OF FIRST OBS
1.000 INTERVAL
17 LEAP SECONDS
31 # OF SATELLITES
7 # / TYPES OF OBSERV
G 1 1681 1405 1405 1681 1405 1681 1405 PRN / # OF OBS
G 3 1867 1841 1841 1867 1841 1867 1841 PRN / # OF OBS
G 8 1884 1884 1884 1884 1884 1884 1884 PRN / # OF OBS
G11 1884 1855 1855 1884 1855 1884 1855 PRN / # OF OBS
G12 129 129 129 129 129 129 129 PRN / # OF OBS
G14 1884 1884 1884 1884 1884 1884 1884 PRN / # OF OBS
G16 1884 1884 1884 1884 1884 1884 1884 PRN / # OF OBS
G18 129 128 128 129 128 129 128 PRN / # OF OBS
G20 129 129 129 129 129 129 129 PRN / # OF OBS
G21 129 129 129 129 129 129 129 PRN / # OF OBS
G22 1370 1358 1358 1370 1358 1370 1358 PRN / # OF OBS
G23 1244 806 806 1244 806 1244 806 PRN / # OF OBS
G24 23 22 22 23 22 23 22 PRN / # OF OBS
G25 129 129 129 129 129 129 129 PRN / # OF OBS
G26 1588 1113 1113 1588 1113 1588 1113 PRN / # OF OBS
G27 1884 1884 1884 1884 1884 1884 1884 PRN / # OF OBS
G29 129 129 129 129 129 129 129 PRN / # OF OBS
G31 2013 2007 2007 2013 2007 2013 2007 PRN / # OF OBS
G32 1884 1884 1884 1884 1884 1884 1884 PRN / # OF OBS

```

Gambar 3.6 Contoh RINEX

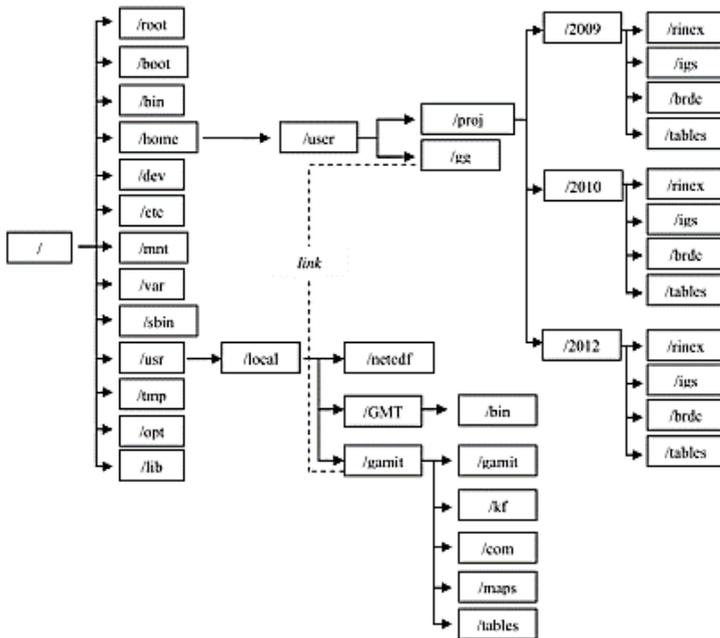
Selain file GPS yang akan diolah juga terdapat file penunjang yang harus dimiliki sebelum dilakukan pengolahan menggunakan GAMIT/GLOBK, yaitu file *prechise ephemeris* (.sp3), file navigasi satelit (.N), file gelombang pasang surut (otl_FES2004.grd), file atmosfer (atmdisp_YYYY), file pemodelan cuaca (vmflgrd.YYYY), serta h-file global sebanyak DOY (*Day Of Year*) yang akan diolah.



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengolahan Data

2. Pembuatan Direktori Kerja File GAMIT

Untuk melakukan pengolahan data dengan GAMIT diperlukan pembuatan direktori kerja yang terletak pada direktori *home* (~). Pada umumnya pada setiap direktori kerja memiliki direktori *project* yang menjadi tempat utama dalam pengolahan data nantinya.



Gambar 3.8 Contoh Struktur Direktori Kerja dan Organisasi Data (Safi'i, 2014)

Dalam direktori *project* tersebut nantinya terdapat folder-folder yang menyusun struktur kerja dari pengolahan GAMIT, adapun folder tersebut adalah :

- a. RINEX, folder yang digunakan untuk menyimpan file-file RINEX observasi baik itu dari titik pengamatan ataupun titik ikat.
- b. *Prechise Ephemeris*, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu orbit satelit. Pada umumnya file yang digunakan bertipe *final precise ephemeris* dengan format *.sp3.
- c. BRDC, folder yang digunakan untuk menyimpan file pendukung yaitu file navigasi global sesuai dengan DOY *project* yang akan diolah. File navigasi tersebut terdapat dua tipe yaitu auto[ddd]0.[yy]n dan brdc[ddd]0.[yy]n. Dimana ddd adalah DOY atau hari dari pengamatan, dan yy adalah *year*/tahun.
- d. Tables, folder yang berisi file-file kontrol dari pengolahan GAMIT. Folder tables dibuat secara otomatis menggunakan perintah bawaan dari *software* GAMIT yaitu dengan mengetikkan “sh_setup -yr [yyyy] -apr [apr file]” pada direktori *project*. Dalam perintah tersebut “yyyy” menyatakan tahun dari data yang digunakan dan “apr file” menyatakan ITRF yang digunakan.

3. *Editing Control Files* pada Folder Tables

Editing Control Files merupakan tahapan untuk mengatur parameter dan skenario pengamatan dari perangkat lunak GAMIT sesuai yang telah direncanakan. Adapun *control files* yang perlu diedit adalah sebagai berikut:

- a. File *lfile.* , berisi koordinat pendekatan (apriori) dari stasiun pengamatan global. Koordinat dari stasiun pengamatan baik titik pantau maupun titik kontrol harus ditambahkan ke dalam file ini.
- b. File *station.info*, merupakan file yang berisi informasi dari setiap stasiun yang diolah. Adapun

informasi yang terdapat pada file *station.info* seperti informasi waktu, tinggi antenna, tipe *receiver*, dll.

- c. File *process.defaults*, digunakan untuk menentukan lokasi file-file yang akan dilakukan pengolahan GAMIT. File ini juga digunakan untuk menentukan tipe file navigasi yang digunakan serta *apr* file yang digunakan.
- d. File *sestbl*, merupakan file yang berisi skenario pengolahan. Untuk melakukan analisa deformasi pada Gunung Merapi, maka salah satu parameter yang perlu diubah adalah *choice of experiment* diubah menjadi "BASELINE". Selain *choice of experiment* bagian lain yang diubah adalah *atml.grid* yang menunjukkan kandungan atmosfer pilih opsi "Y", *map.grid* sebagai pengeplotan koordinat *repeatabilities* dengan GMT pilih opsi "Y", dan *otl.grid* sebagai pemodelan pasang surut air laut pilih opsi "Y".
- e. File *sites.defaults*, merupakan file yang digunakan dalam *automatic batch processing*. File ini digunakan untuk mengontrol penggunaan stasiun dalam pengolahan dengan GAMIT dan GLOBK.
- f. File *sittbl*, merupakan file yang didalamnya berisi nilai *constraint* pada setiap koordinat apriori stasiun yang akan diolah. Untuk titik ikat berikan nilai *constraint* yang kecil, karena dianggap tidak memiliki perubahan posisi yang besar sedangkan untuk titik pengamatan berikanlah *constraint* yang besar.

4. Pengolahan menggunakan GAMIT

Setelah semua data sudah terkumpul dan *control files* telah diatur, langkah berikutnya adalah melakukan perintah

“sh_gamit” pada terminal linux dengan perintah lengkap sebagai berikut :

```
sh_gamit -d yyyy ddd1 ddd2 dddn -expt [expt]
```

dimana “yyyy” adalah tahun dari data yang diolah, “ddd₁” adalah DOY data pertama yang diolah, “ddd₂” adalah DOY data kedua yang diolah, “ddd_n” adalah DOY data ke-n yang diolah, dan “expt” adalah nama *experiment* atau nama *project* pengolahan. Hasil yang didapatkan dari pengolahan GAMIT adalah folder sebanyak DOY yang diolah. Setiap folder DOY terdapat h-file hasil pengolahan GAMIT.

5. Konversi h-file dan *Editing file globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd*

Untuk melanjutkan pengolahan dengan GLOBK file h-file hasil dari pengolahan GAMIT perlu dikonversi menjadi file biner begitu juga h-file global, adapun cara konversi data tersebut dapat dilakukan dengan perintah sebagai berikut:

```
htoglb [directory output][ephemeris file][input file]
```

Hasil konversi dari perintah diatas adalah berupa file *.glr dan *.glx. File berformat *.glr merupakan solusi *ambiguitas fase free* dan file *.glx merupakan solusi *ambiguitas fase fixed*. Setelah proses konversi, file berformat *.glx perlu digabungkan menjadi satu file dengan format *.gdl. Penggabungan dapat dilakukan dengan menuliskan perintah sebagai berikut:

```
ls ../[directory input]/*.glx > [nama.project].gdl
```

hasil dari perintah tersebut adalah munculnya file “nama project.gdl”.

Setelah proses konversi, dilakukan proses *editing file globk_comb.cmd* dan *glorg_comb.cmd* yang dapat dicopy dari folder ~/gg/tables, kemudian file tersebut ditempatkan pada folder *gsoln*. Untuk mendapatkan output koordinat UTM dan koordinat geodit, maka pada bagian prt_opt diedit menjadi GDLF CMDS GEOD UTM. Sedangkan untuk mendapatkan output panjang *baseline* pada bagian org_opt diedit menjadi PSUM CMDS GDLF BLEN.

Apabila hasil koordinat RMS memenuhi ketelitian dibawah 0,3, maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Jika hasil koordinat tidak memenuhi ketelitian tersebut, maka perlu dilakukan pengolahan GAMIT dari awal.

6. Pengolahan menggunakan GLOBK

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan GLOBK untuk mendapatkan perubahan koordinat secara *time series*. Adapun bentuk perintah yang harus dimasukkan pada terminal linux adalah sebagai berikut:

```
sh_glred -s yyyy1 ddd1 yyyy2 ddd2 -expt [expt] -opt H G E
```

Keterangan :

yyyy₁ : tahun awal dari data yang diolah
 ddd₁ : DOY awal dari data yang diolah
 yyyy₂ : tahun akhir dari data yang diolah
 ddd₂ : DOY akhir dari data yang diolah
 expt : nama *experiment* atau nama *project*
 H : memindah h-file kedalam direktori glbf
 G : membentuk file ekstensi .gdl pada setiap harinya ke dalam direktori *gsoln*
 E : *plotting time-series*

Hasil dari menjalankan GLOBK adalah *file* berekstensi .org, kemudian *file plotting time-series* dengan pola file *psbase_[expt].[GPS]*, selain itu juga terdapat file yang berisi koordinat toposentris dengan pola nama *VAL.[expt]*.

7. Analisa Penurunan Tanah

Setelah terdapat koordinat dari GLOBK, perlu dilakukannya uji *t-student* dan analisa penurunan tanah. Uji *t-student* pada uji statistik dilakukan dengan membandingkan *t*-hitungan dengan *t*-tabel dan meninjau dari kolom signifikansi. Koordinat dari GLOBK dilakukan plotting sehingga terdapat grafik. Dari grafik dan hasil uji itulah, peneliti menyimpulkan apakah dalam suatu titik lokasi pengamatan terdapat penurunan yang signifikan atau tidak.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengolahan Data Pengamatan GPS

Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data GPS di kawasan lumpur Sidoarjo menggunakan GPS Geodetik HiperPro, dengan titik ikat CORS ITS. Data GPS yang telah diambil masih berupa data mentah sehingga perlu diubah menjadi data RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) agar dapat diolah di perangkat lunak GAMIT/GLOBK. Proses tersebut dilakukan di TOPCON TOOLS yang merupakan perangkat lunak bawaan alat GPS Geodetik HiperPro. Hasil tersebut berupa data .yyo, .yyn, dan .yyg (dimana yy merupakan akronim dua angka tahun pengamatan). Karena data utama yang dibutuhkan pada GAMIT/GLOBK adalah data RINEX atau .yyo, maka hanya diambil data .yyo hasil pengubahan pada perangkat lunak TOPCON TOOLS.

Data RINEX .yyo baik titik pengamatan maupun titik ikat dimasukkan ke direktori kerja bersamaan dengan data precise ephemeris, data navigasi satelit, maupun data pendukung seperti data ion dan meteorologi. Setelah tabel direktori kerja telah disesuaikan, maka dilakukan proses GAMIT dengan perintah `sh_gamit`. GAMIT berguna untuk menentukan estimasi, matriks kovarian, dan parameter rotasi bumi (Herring, 2010). Hasil yang diperoleh dari `sh_gamit` berupa folder `doy` dan data selain `doy` yang dihasilkan dari pengubahan pengaturan di folder `table` direktori kerja. Agar hasil dari proses GAMIT ini dapat dilanjutkan ke GLOBK, maka perlu dicermatinya *root mean square/rms* pada `hfile` atau `qfile` pada folder `doy`. Data dengan hasil rms dibawah 0,3 m dapat digunakan untuk proses GLOBK. Apabila hasil rms diatas 0,3 m, perlu dilakukan pengecekan menyeluruh pada direktori kerja dan `sh_gamit` ulang sampai hasil rms dibawah 0,3 m.

Setelah hasil rms dibawah 0,3 m pada proses GAMIT, proses selanjutnya adalah melakukan GLOBK pada hasil keluaran GAMIT. GLOBK berfungsi untuk menghasilkan koordinat akhir,

variabel pergeseran, dan *time-series* (Herring, 2010). Data hfile yang dihasilkan di *folder* *doy* diubah menjadi data biner, sehingga dapat diproses. Perintah `globk_comb.cmd` dan `glorg_comb.cmd` perlu dilakukan penyesuaian. Hasil koordinat akhir dapat dilihat dari VALfile pada folder *gsoln*. Adapun hasil koordinat akhir titik pengamatan dari GLOBK pada penelitian ini tertuang pada Tabel 4.1 hingga 4.4, yakni:

Tabel 4.1 Koordinat Akhir Kala 1

NO	Titik	Koordinat (UTM)		
		N (m)	E (m)	u (m)
1	TTG 1304	9162606.0599	686566.7054	43.1865
2	TTG 1305	9165632.5269	687353.7947	38.9286
3	TTG 1307	9171609.5684	688853.8829	32.6170
4	BM ARTERI	9166189.2970	685794.3941	35.5267
5	BPN PT01	9168497.3561	691252.9635	30.6911
6	BPN PT06	9170081.9517	693013.2488	30.3165
7	BT01	9170380.9445	687275.7345	32.2783
8	BT03	9168700.8521	687447.7710	32.4750
9	BW08	9168790.0578	690071.3780	31.4710
10	BW13	9166787.8393	687841.6625	33.4493
11	GEMPOL NEW	9163674.0348	689495.3595	34.2736
12	KB01	9165609.1258	685536.0498	35.6114
13	KD01	9169851.3475	691808.0972	30.6463
14	KJ01	9169550.2783	692255.3634	31.0328
15	BM MARITIM	9170873.9814	690767.1238	31.5147
16	BPN PT11	9171031.6099	685757.0840	34.2264
17	VK09	9167322.0157	690298.6863	31.5714
18	VK13	9165694.2053	688738.7193	37.7827
19	VK14	9165749.5324	692869.5472	36.4608

Tabel 4.2 Koordinat Akhir Kala 2

NO	Titik	Koordinat (UTM)		
		N (m)	E (m)	u (m)
1	TTG 1304	9162606.0910	686566.7759	43.2110
2	TTG 1305	9165632.5269	687353.8669	38.9308
3	TTG 1307	9171609.6454	688853.6907	32.3499
4	BM ARTERI	9166189.3402	685794.4074	35.5949
5	BPN PT01	9168497.3701	691252.9761	30.6732
6	BPN PT06	9170081.9532	693013.2481	30.2766
7	BT01	9170380.9894	687275.6828	32.2610
8	BT03	9168700.8755	687447.3913	32.5026
9	BW08	9168790.0503	690071.3897	31.4381
10	BW13	9166787.8585	687841.6207	33.4383
11	GEMPOL NEW	9163674.0724	689495.3591	34.2415
12	KB01	9165609.1134	685536.0601	35.6851
13	KD01	9169851.3901	691807.6752	30.6392
14	KJ01	9169550.2711	692255.3922	31.0458
15	BM MARITIM	9170874.0128	690767.1079	31.5414
16	BPN PT11	9171031.6650	685757.0435	34.2020
17	VK09	9167322.0032	690298.5168	31.6575
18	VK13	9165694.2137	688738.9052	37.7636
19	VK14	9165749.5788	692869.5697	36.5484

Tabel 4.3 Koordinat Akhir Kala 3

NO	Titik	Koordinat (UTM)		
		N (m)	E (m)	u (m)
1	TTG 1304	9162606.2728	686566.5882	42.9462
2	TTG 1305	9165632.5717	687353.4731	38.8866
3	TTG 1307	9171609.6600	688853.9340	32.3556
4	BM ARTERI	9166189.3371	685794.4100	35.4886

5	BPN PT01	9168497.3712	691252.9728	30.6418
6	BPN PT06	9170081.9510	693013.2413	30.2403
7	BT01	9170380.9795	687275.6379	32.2378
8	BT03	9168700.8574	687447.8018	32.3761
9	BW08	9168790.0785	690071.4319	31.4225
10	BW13	9166787.8725	687841.6541	33.4262
11	GEMPOL NEW	9163674.0676	689495.3601	34.2314
12	KB01	9165609.1291	685536.0323	35.5149
13	KD01	9169851.3287	691808.0853	30.6316
14	KJ01	9169550.2780	692255.4048	30.9289
15	BM MARITIM	9170874.0125	690767.1295	31.4612
16	BPN PT11	9171031.6579	685757.0518	34.1753
17	VK09	9167322.0136	690298.6069	31.5226
18	VK13	9165694.1643	688739.2873	37.7321
19	VK14	9165749.5795	692869.5491	36.4479

Tabel 4.4 Koordinat Akhir Kala 4

NO	Titik	Koordinat (UTM)		
		N (m)	E (m)	u (m)
1	TTG 1304	9162606.0371	686566.8907	42.9070
2	TTG 1305	9165632.5629	687353.7839	38.8655
3	TTG 1307	9171609.6339	688853.5453	32.2212
4	BM ARTERI	9166189.3247	685794.3982	35.4787
5	BPN PT01	9168497.3601	691252.9981	30.6325
6	BPN PT06	9170081.9574	693013.2464	30.2385
7	BT01	9170380.9807	687275.7028	32.2100
8	BT03	9168700.8802	687447.4791	32.2201
9	BW08	9168790.0668	690071.4442	31.3856
10	BW13	9166787.8853	687841.6229	33.4106
11	GEMPOL NEW	9163674.0744	689495.3781	34.2081

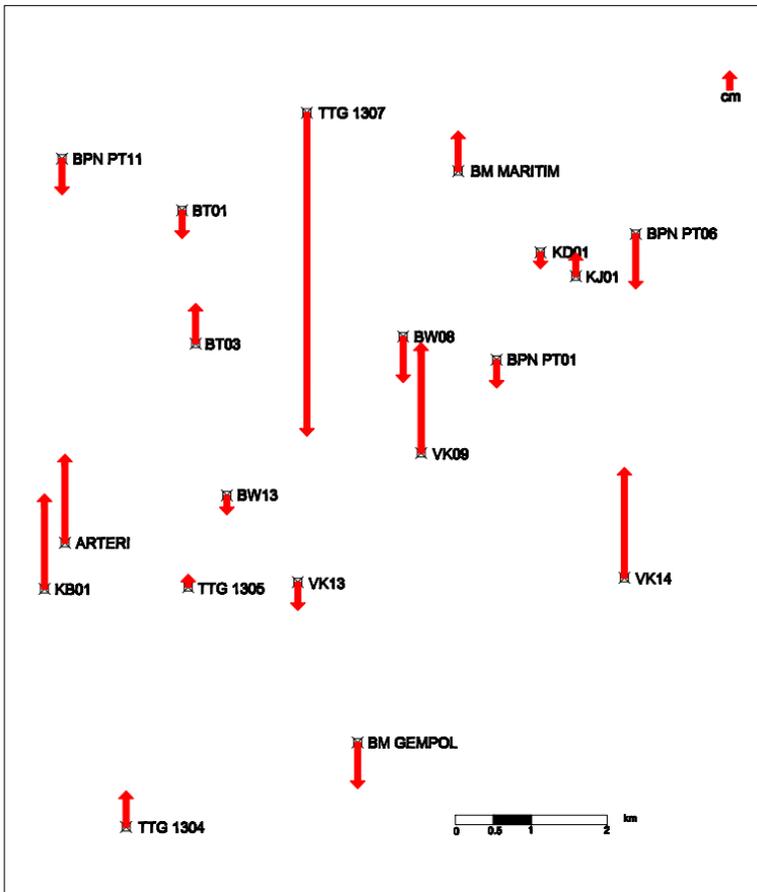
12	KB01	9165609.1155	685536.0592	35.4904
13	KD01	9169851.3899	691807.8158	30.6250
14	KJ01	9169550.2738	692255.3840	30.9134
15	BM MARITIM	9170874.0272	690767.0680	31.4403
16	BPN PT11	9171031.6748	685757.0325	34.1637
17	VK09	9167322.0158	690298.4939	31.5066
18	VK13	9165694.2723	688738.8538	37.7203
19	VK14	9165749.5848	692869.5378	36.4386

4.2. Hasil Peningkatan/Penurunan Tanah

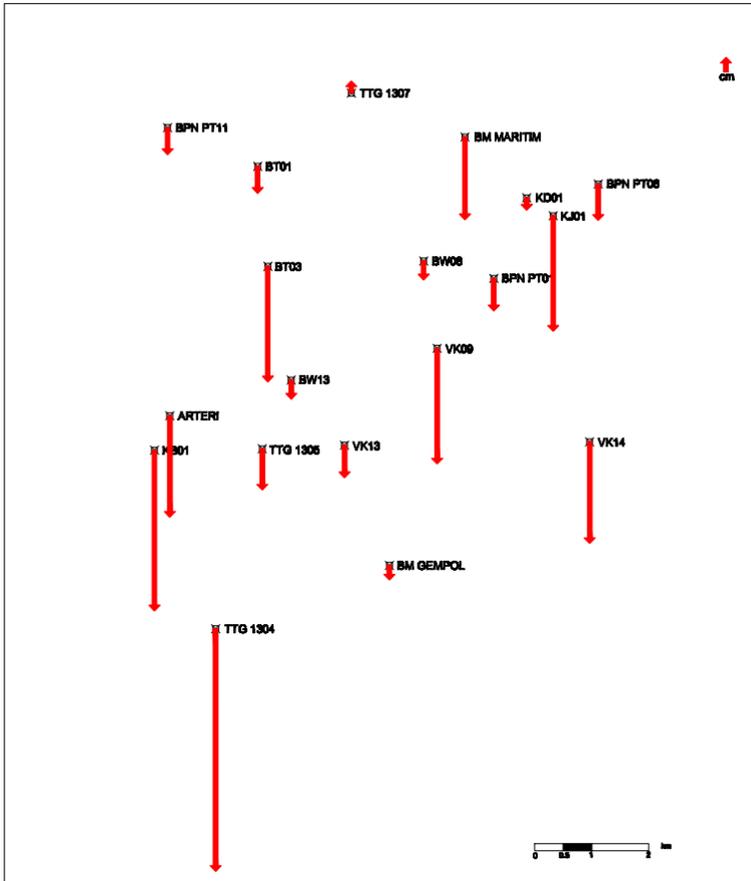
Setelah didapatkan koordinat estimasi fix dari pengolahan GLOBK, dilakukan pengamatan pada semua kala khususnya vertikal. Pengamatan antar kala bertujuan untuk melihat apakah ada peningkatan maupun penurunan antara satu kala dengan kala lainnya, dengan kata lain melihat adanya vektor pergeseran vertikal.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

Tabel 4.5 Selisih Vertikal Antar Kala

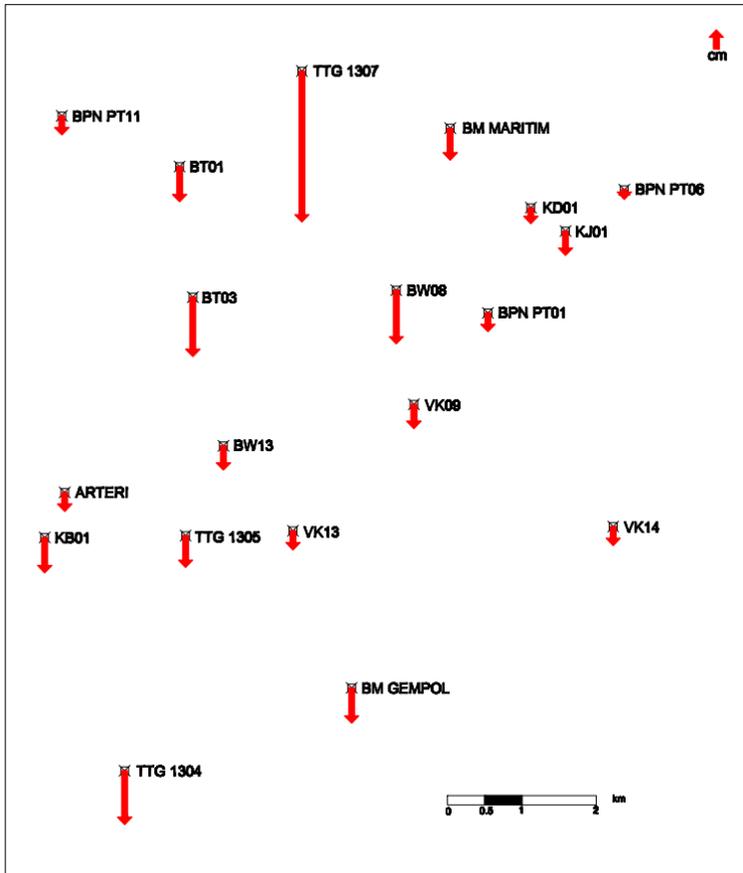
NO	Titik	Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Penarikan/ Penurunan Kala 1-2	Kala 3 (m)	Penarikan/ Penurunan Kala 2-3	Kala 4 (m)	Penarikan/ Penurunan Kala 3-4
1	TTG 1304	43.18651	43.21103	0.02452	42.94621	-0.26482	42.907	-0.03921
2	TTG 1305	38.92864	38.93075	0.00211	38.88657	-0.04418	38.8655	-0.02107
3	TTG 1307	32.61697	32.34988	-0.26709	32.35564	0.00576	32.22122	-0.13442
4	ARTERI	35.52675	35.59491	0.06816	35.48865	-0.10626	35.47868	-0.00997
5	BPN 01	30.69105	30.67318	-0.01787	30.6418	-0.03138	30.63252	-0.00928
6	BPN 06	30.3165	30.27655	-0.03995	30.24035	-0.0362	30.23854	-0.00181
7	BT 01	32.27831	32.26096	-0.01735	32.23784	-0.02312	32.21003	-0.02781
8	BT 03	32.47498	32.50257	0.02759	32.37611	-0.12646	32.3301	-0.04601
9	BW 08	31.47096	31.43806	-0.0329	31.42245	-0.01561	31.38556	-0.03689
10	BW 13	33.44929	33.43831	-0.01098	33.42624	-0.01207	33.41063	-0.01561
11	GEMPOL NEW	34.27357	34.24149	-0.03208	34.23141	-0.01008	34.20808	-0.02333
12	KB 01	35.61136	35.68511	0.07375	35.51493	-0.17018	35.49043	-0.0245
13	KD 01	30.64633	30.63923	-0.0071	30.63153	-0.0077	30.62495	-0.00658
14	KJ 01	31.03279	31.04581	0.01302	30.92886	-0.11695	30.9134	-0.01546
15	BM MARTIM	31.51465	31.54136	0.02671	31.46121	-0.08015	31.44028	-0.02093
16	PT 11	34.22635	34.20201	-0.02434	34.17527	-0.02674	34.16373	-0.01154
17	VK 09	31.5714	31.65752	0.08612	31.52257	-0.13495	31.50657	-0.016
18	VK 13	37.78266	37.76363	-0.01903	37.73207	-0.03156	37.72031	-0.01176
19	VK14	36.46083	36.54841	0.08758	36.44794	-0.10047	36.43859	-0.00935



Gambar 4.1 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 1-2



Gambar 4.2 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 2-3



Gambar 4.3 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal Kala 3-4

Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.1-4.3 diatas, terdapat hasil kenaikan 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 kenaikan 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 kenaikan 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). Seluruh kala perlu diamati untuk melihat bagaimana kecenderungan kenaikan/penurunan tanah yang terjadi. Adapun hasil kenaikan/penurunan tanah seluruh kala pada velo.org yakni:

Tabel 4.6 Selisih Vertikal Seluruh 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

Dari Tabel 4.6 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. Pengevaluasian dengan uji hipotesis perlu dilakukan untuk mengetahui apakah titik tersebut mengalami kenaikan/penurunan tanah secara signifikan atau tidak.

4.3. Hasil Uji Statistika

Keseluruhan titik pengamatan terutama ketinggian (u) untuk dilihat vektor pergeseran vertikalnya. Data yang akan diuji adalah data pada Tabel 4.6. Setelah mengetahui besaran pergeseran vertikal titik pengamatan GPS selama April, Mei, Juni, dan Oktober 2016, maka perlu dilakukan pengujian statistik untuk melihat hasil dari vektor pergeseran, apakah pergeseran tersebut mempengaruhi tinggi titik pengamatan. Pengujian statistik pada penelitian ini menggunakan uji *t-student*. Uji statistik ini dilakukan dengan menguji variabel pergeseran titik (P_{xy}) dari sesi pengamatan x ke y dibagi dengan standar deviasi titik. Adapun rumus variabel pergeseran titik yakni:

$$P_{xy} = \sqrt{(du_{xy})^2} \quad (4.1)$$

Sedangkan untuk standar deviasi dihitung menggunakan rumus:

$$Std P_{xy} = \sqrt{(sd du_{xy})^2} \quad (4.2)$$

Hipotesis nol yang dilakukan pada uji statistik ini adalah titik pengamatan tidak terjadi *uplifting* maupun *subsidence* dalam selang waktu h, sehingga:

$$\text{Hipotesis nol} \quad H_0 : P_{xy} = 0$$

$$\text{Hipotesis alternatif} \quad H_1 : P_{xy} \neq 0$$

Adapun rumus uji *t-student* yang digunakan untuk menguji pergeseran vertikal titik pengamatan yakni:

$$T = P_{xy}/Std P_{xy} \quad (4.3)$$

Setelah melakukan uji statistik, hasil dari uji statistik diuji kembali dengan uji hipotesis seperti yang tercantum pada rumus

(2.5). Pergeseran vertikal dinyatakan signifikan apabila hipotesis nol ditolak atau hipotesis alternatif diterima. Pergeseran dinyatakan signifikan jika (Wolf & Ghilani, 2006):

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

Untuk tingkat kepercayaan pada uji statistik ini digunakanlah selang kepercayaan 90%, sehingga nilai dari uji hipotesis signifikan sebesar 2,35 jika dilihat dengan df (*degree of freedom*) 3 pada tabel t-distribution (Mikhail & Gracie, 1981). Tabel 4.7 berikut menunjukkan besar pergeseran yang terjadi di semua titik pengamatan.

Tabel 4.7 Hasil Uji *T-test*

Titik	dU	std U	Pxy	std Pxy	T	Pergeseran T>tdf (2,35)
TTG 1304	-0.3309	0.13706	0.3309	0.137061222	2.41425	iya
TTG 1305	-0.0702	0.02785	0.0702	0.027854955	2.5202	iya
TTG 1307	-0.3543	0.14381	0.3543	0.143810598	2.46366	iya
BM ARTERI	-0.075	0.04563	0.075	0.045626282	1.64379	tidak
BPN PT01	-0.0621	0.02358	0.0621	0.023577954	2.63382	iya
BPN PT06	-0.081	0.03185	0.081	0.031850297	2.54315	iya
BT01	-0.0684	0.02562	0.0684	0.025620789	2.66971	iya
BT03	-0.1683	0.07044	0.1683	0.070436874	2.38937	iya
BW08	-0.0816	0.03071	0.0816	0.030709917	2.65712	iya
BW13	-0.0384	0.01437	0.0384	0.014365753	2.67302	iya
GEMPOL NEW	-0.0621	0.02353	0.0621	0.02352878	2.63932	iya
KB01	-0.1629	0.07779	0.1629	0.07779125	2.09407	tidak
KD01	-0.0216	0.00802	0.0216	0.008023034	2.69225	iya
KI01	-0.1425	0.05952	0.1425	0.059515575	2.39433	iya
BM MARITIM	-0.0909	0.04045	0.0909	0.04045013	2.24721	tidak
BPN PT11	-0.0645	0.02429	0.0645	0.024285314	2.65593	iya
VK09	-0.0987	0.05877	0.0987	0.058767209	1.67951	tidak
VK13	-0.0657	0.02477	0.0657	0.024773934	2.65198	iya
VK14	-0.0501	0.04371	0.0501	0.043712914	1.14611	tidak

Dari hasil uji *t-student* diatas, terdapat 14 titik yang mengalami pergeseran signifikan dan lima titik yang tidak mengalami pergeseran signifikan. Pembahasan mengenai titik yang tidak mengalami pergeseran secara signifikan dapat dilihat pada bagian “Analisa Penurunan Tanah”.

4.4. 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. Hasil uji statistik titik yang tidak mengalami pergeseran vertikal signifikan terdapat pada Tabel 4.8, yakni:

Tabel 4.8 Hasil Uji *T-test* Tidak Signifikan

Titik	dU	std U	Pu	std Pu	T	Pergeseran T>tdf (2.35)
BM Arteri	-0.075	0.045626	0.075	0.045626	1.643789	tidak
KB01	-0.1629	0.077791	0.1629	0.077791	2.094066	tidak
BM Maritim	-0.0909	0.04045	0.0909	0.04045	2.247212	tidak
VK09	-0.0987	0.058767	0.0987	0.058767	1.679508	tidak
VK14	-0.0501	0.043713	0.0501	0.043713	1.146114	tidak

Apabila ditinjau pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.1, terdapat satu fenomena yang terjadi. Fenomena tersebut adalah kenaikan/*uplift* titik dari kala pertama ke kala kedua. Tabel 4.9 dibawah memberikan informasi bagaimana pola pergeseran vertikal titik pengamatan secara kuantitas. Pada titik pengamatan yang dinyatakan tidak signifikan, kenaikan/*uplift* titik dari kala pertama ke kala kedua cukup tinggi dan mengganggu uji statistik tersebut.

Tabel 4.9 Fenomena Penaikan Titik Kala 1-2

NO	Titik	Penaikan/Penurunan Kala 1-2 (m)
1	TTG 1304	0.02452
2	TTG 1305	0.00211
3	TTG 1307	-0.26709
4	ARTERI	0.06816
5	BPN 01	-0.01787
6	BPN 06	-0.03995
7	BT 01	-0.01735
8	BT 03	0.02759
9	BW 08	-0.0329
10	BW 13	-0.01098
11	GEMPOL NEW	-0.03208
12	KB 01	0.07375
13	KD 01	-0.0071
14	KJ 01	0.01302
15	BM MARITIM	0.02671
16	PT 11	-0.02434
17	VK 09	0.08612
18	VK 13	-0.01903
19	VK14	0.08758

Terdapat faktor-faktor yang menyebabkan kenaikan/uplift pada pengamatan kala kedua dari kala pertama (ditunjukkan dengan sel ■ pada Tabel 4.9). 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 (Okorocho & 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 pada Tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.10 Hasil Penelitian 2011 dan 2014

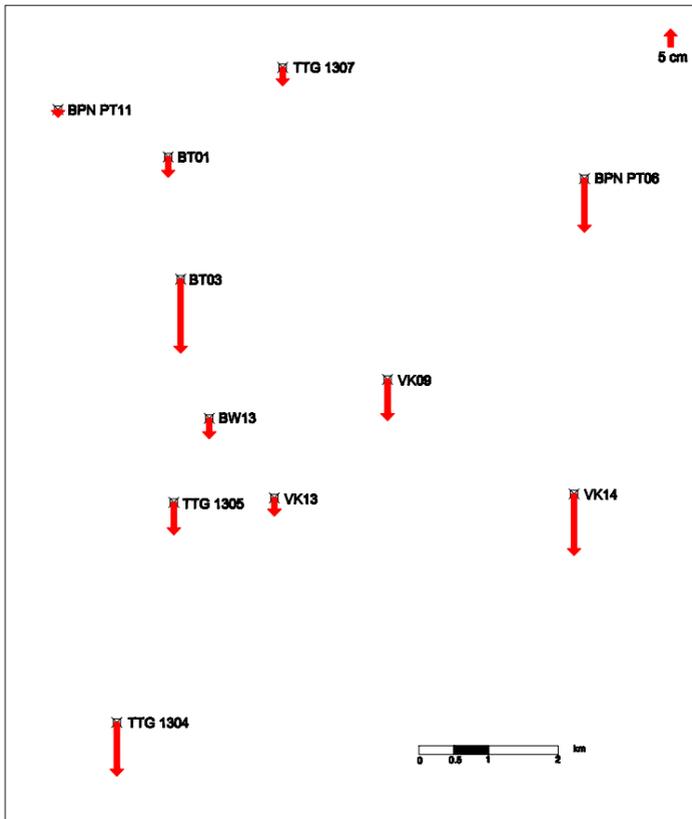
NO	Titik	2011 (Imam Bukhori)					2014 (Wisnu Pribadi)		
		Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)	Kala 4 (m)	Kala 5 (m)	Kala 1 (m)	Kala 2 (m)	Kala 3 (m)
1	TTG 1304	43.632	43.709	43.703	43.688	43.7	43.258	43.291	43.262
2	TTG 1305	39.341	39.409	39.414	39.392	39.38	38.992	39.024	39.049
3	TTG 1307	32.807	32.801	32.802	32.791	32.796	32.399	32.373	32.469
4	BPN PT06	31.045	31.051	31.043	31.023	31.078	30.497	30.577	30.351
5	BT01	32.842	32.836	32.779	32.828	32.764	32.285	32.373	32.355
6	BT03	33.082	33.09	33.074	33.03	33.021	32.727	32.696	32.705
7	BW13	33.924	33.995	33.983	33.93	33.95	33.482	33.534	33.535
8	BPN PT11	34.621	34.649	34.674	34.598	34.644	34.142	34.202	34.189
9	VK09	32.146	32.131	32.148	32.114	32.076	31.733	31.625	31.784
10	VK13	38.248	38.264	38.299	38.276	38.259	37.762	37.83	37.802
11	VK14	36.993	36.995	36.976	36.947	36.948	36.89	36.411	36.854

(Sumber: Bukhori, 2011; Pribadi, 2014)

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

Tabel 4.11 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



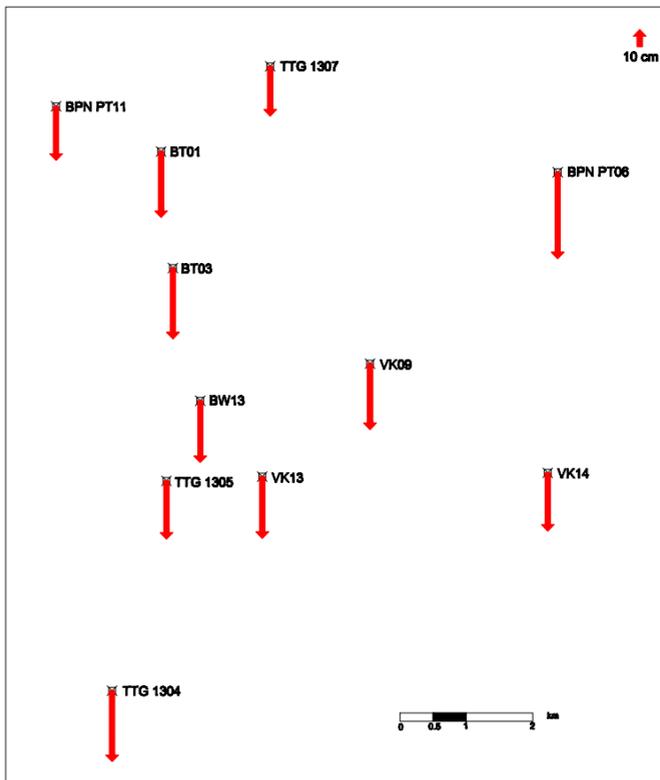
Gambar 4.5 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal 2016 dengan 2014

Adapun perbandingan penelitian 2011 dengan penelitian 2016 yakni:

Tabel 4.12 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



Gambar 4.6 Hasil Vektor Pergeseran Vertikal 2016 dengan 2011

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 Tabel , 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:

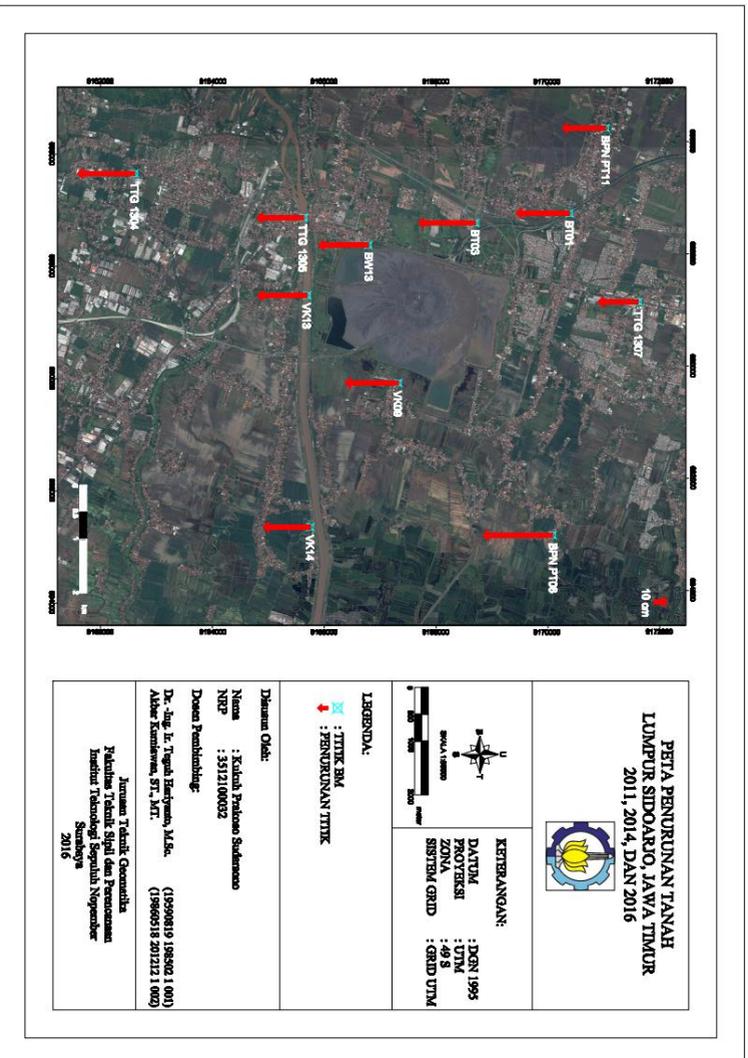
$$Y = a + bX \quad (4.4)$$

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 4.13 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

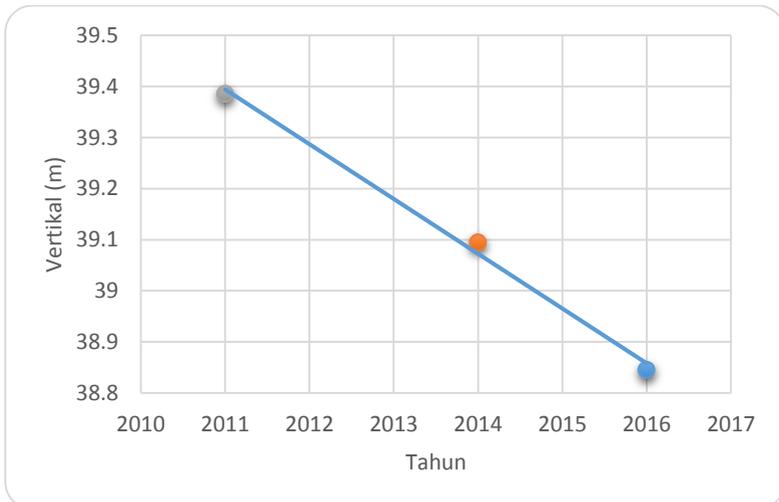
Gambar 4.7 Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016



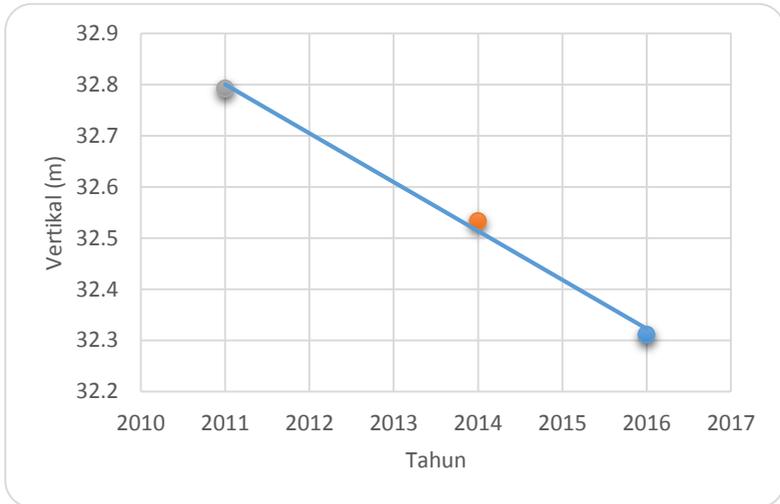
Adapun hasil plotting tersebut yakni:



Gambar 4.8 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1304



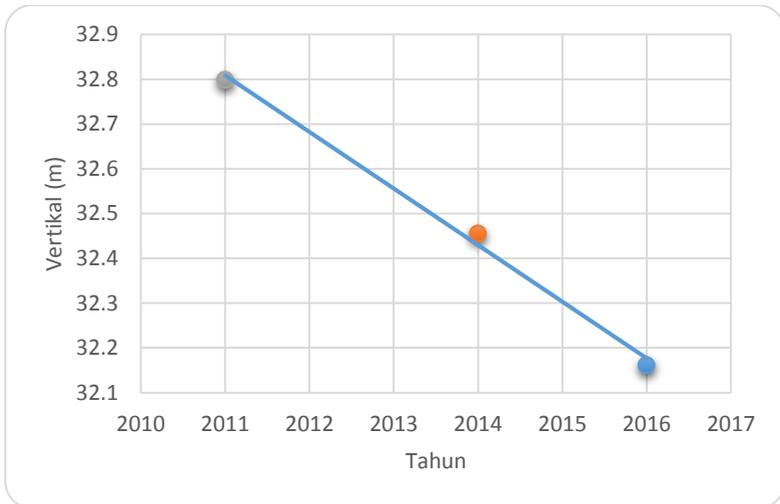
Gambar 4.9 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1305



Gambar 4.10 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik TTG 1307



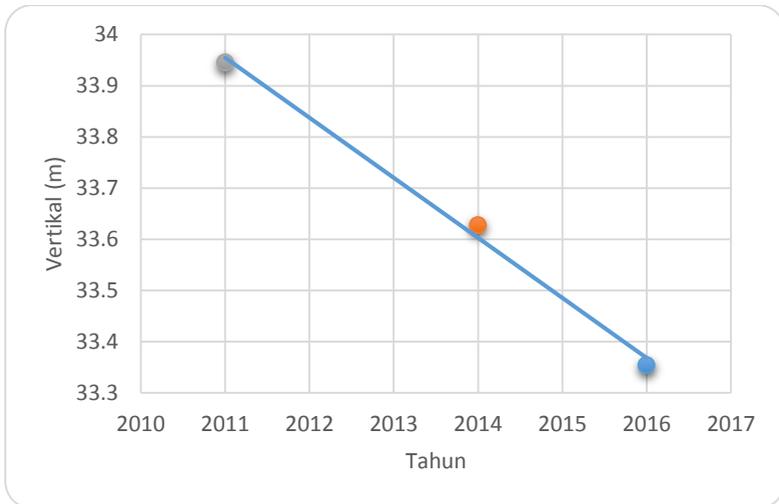
Gambar 4.11 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BPN PT06



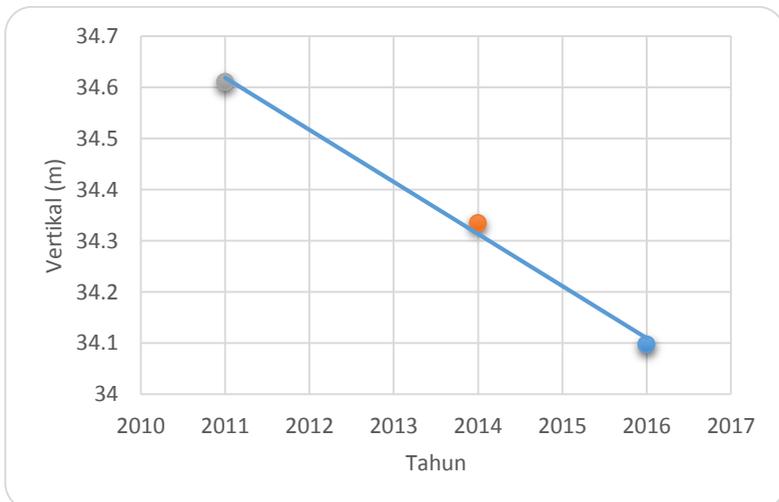
Gambar 4.12 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BT 01



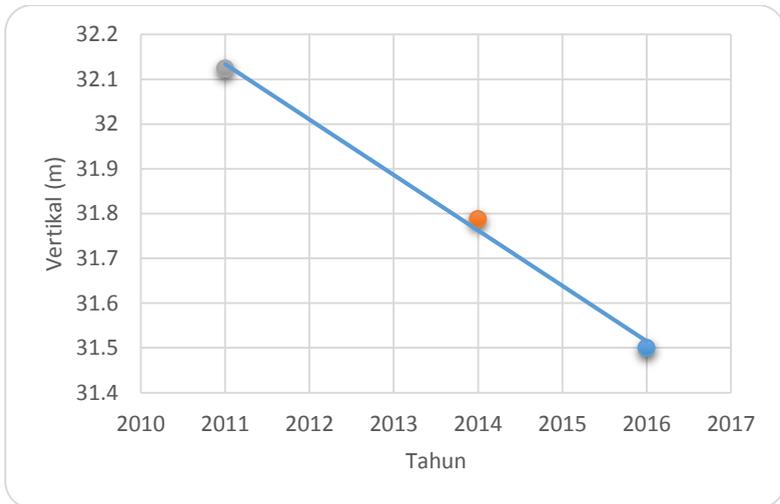
Gambar 4.13 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BT 03



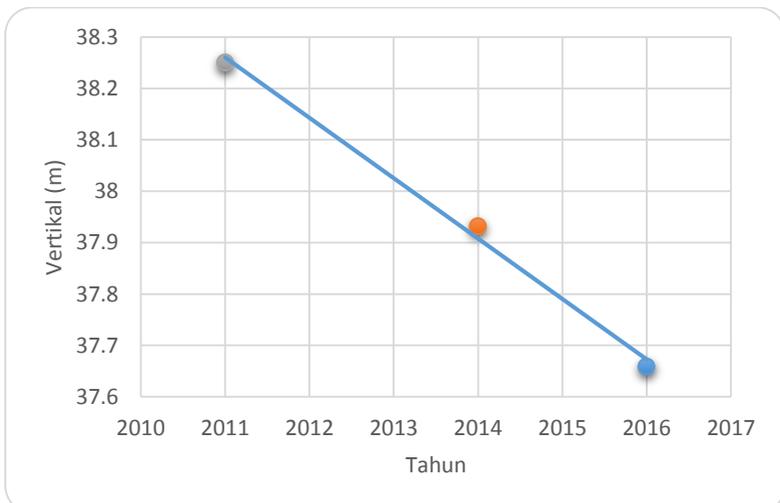
Gambar 4.14 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BW 13



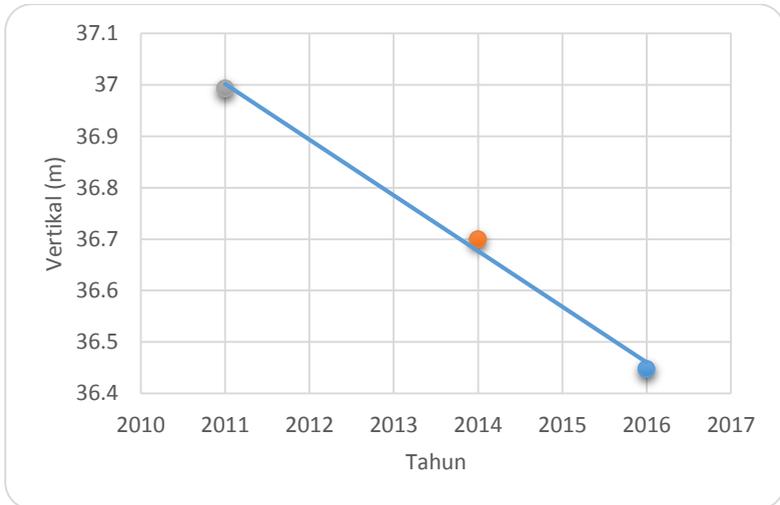
Gambar 4.15 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik BPN PT11



Gambar 4.16 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK 09



Gambar 4.17 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK 13



Gambar 4.18 *Plotting* Penurunan Tanah Berdasarkan Penelitian 2011, 2014, dan 2016 Titik VK 14

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 multipath.
- 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.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. 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.
2. 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).
3. 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.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlunya penambahan kala pengamatan, baik dua kali sebulan selama setahun, ataupun empat kali sebulan

selama setahun. Semakin banyak data yang tersedia, semakin terlihat pula pola uplift atau subsidence yang terjadi.

2. Penggunaan metode jaring akan menghasilkan data dengan ketelitian yang lebih bagus dibanding menggunakan metode radial.
3. Pengamatan untuk bidang dinamika bumi sebaiknya dilakukan minimal 12 jam supaya menghasilkan data residual yang tidak sebanyak dibawahnya.
4. Perlunya pengikatan ke CORS dengan kualitas bagus, semisal CORS BIG dengan jarak yang relatif dekat (< 15 km).
5. Perlunya integrasi dari beberapa metode, selain dengan pengamatan GPS untuk memberikan hasil yang lebih akurat terkait penurunan tanah yang terjadi di kawasan lumpur Sidoarjo. Beberapa metode yang dapat menunjang antara lain seperti pengukuran menggunakan radargrametri, pengukuran menggunakan waterpass, dan lain-lain.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Control Files GAMIT/GLOBK

File sittbl.

```
SITE          FIX    --COORD.CONSTR.--  
  
    << default for regional stations >>  
  
ALL          NNN    100.  100.  100.  
  
    << IGS core stations >>  
  
ITSl ITSl GPS    NNN    0.001 0.001  0.01
```

File process.defaults

```
# process.defaults  
#  
# Do not remove any of these entries. To by-pass a  
function, set the value to null: ""  
  
## LOCAL DIRECTORIES  
# Directory for translation of raw data  
set rawpth = "$procdir/raw"  
# Directory path for raw archives (search all levels); e.g.  
/data18/simon  
set rawfnd = ""  
# Input files for RINEX translators  
set mpth = "$procdir/mkrinex"  
# RINEX files directory  
set rpth = "$procdir/rinex"  
# Directory path for RINEX archives (search all levels);  
e.g. /data18/simon  
set rnxfnd = ""  
# Broadcast orbit directory  
set bofnd = ""
```

File sites.defaults

```
# File to control the use of stations in the processing
#
# Format: site expt keyword1 keyword2 ....
#
.
.
.
.
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the
following to list sites needed from external archive
all_sites expt xstinfo
1304_gps 1115 localrx xstinfo
1305_gps 1115 localrx xstinfo
1307_gps 1115 localrx xstinfo
artr_gps 1115 localrx xstinfo
bpn1_gps 1115 localrx xstinfo
bpn6_gps 1115 localrx xstinfo
bt01_gps 1115 localrx xstinfo
bt03_gps 1115 localrx xstinfo
bw08_gps 1115 localrx xstinfo
bw13_gps 1115 localrx xstinfo
gmp1_gps 1115 localrx xstinfo
its1_gps 1115 localrx xstinfo
kb01_gps 1115 localrx xstinfo
kd01_gps 1115 localrx xstinfo
kj01_gps 1115 localrx xstinfo
mrtm_gps 1115 localrx xstinfo
pt11_gps 1115 localrx xstinfo
vk09_gps 1115 localrx xstinfo
vk13_gps 1115 localrx xstinfo
vk14_gps 1115 localrx xstinfo
# templates for removing sites
ttht_gps expt xsite:1999_256-1999_278 glreps
xsite:1999_300-1999_365
```

File globk.cmd

```
* GLOBK command file to generate daily time series and to  
combine  
* h-files over 2 to 30 days.  
  
* For combination, set COMB as a globk command-line option  
to  
* invoke the saving of the output h-file  
  
* Last edited by rwk 130701  
  
* << column 1 must be blank if not comment >>
```

File globk.cmd

```
* This group of commands must appear before any others:
srt_file @.srt
srt_dir +1
eq_file ../tables/IGS08_disc.eq
# Optionally add a second eq_file for analysis-specific
renames
* End commands that must appear first

* ITRF2008 augmented by now-defunct sites and recent IGS
solutions;
# matched to itrff08_comb.eq
apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
# Optionally add additional apr files for other sites
x ../tables/apr_file regional.apr

* Set maximum chi2, prefit coordinate difference (m), and
rotation (mas) for an h-file to be used;
max_chi1 13 3 100
# increase tolerances to include all files for diagnostics
x max_chi 100 5.0 20000

# Not necessary unless combining h-files with different a
priori EOP
in_pmu ../tables/pmu.usno

* Invoke glorg
org_cmd glorg_comb.cmd

* Print file options
crt_opt NOPR
prt_opt NOPR GDLF GEOD BLEN UTM
org_opt PSUM CMDS GDLF BLEN UTM
# sh_glred will name the glorg print files
x org_out globk_comb.org

* Coordinate parameters to be estimated and a priori
constraints
apr_neu all 10 10 10 0 0 0
```

```

* Rotation parameters to be estimated and a priori
constraints
  apr_wob 10 10 0 0
  apr_utl 10 0
# If combining with global h-files, allow EOPS to change
# between days
x mar_wob 3650 3650 365 365
x mar_utl 365 365
# EOP tight if translation-only stabilization in glorg
x apr_wob .25 .25 .1 .1
x apr utl .25 .1

* Write out a combined H-file
# Can substitute your analysis name for 'COMB' in the file
name below
COMB out_glb H-----_COMB.GLX

* Optionally put a uselist and/or sig_neu and mar_neu
reweight in a source file
x source ../tables/uselist
x source ../tables/daily_reweights

* Turn off quake log estimates if in the eq_file
free_log -1

* Remove scratch files for repeatability runs
del_scrs yes

* Correct the pole tide when not compatible with GAMIT
app_ptid all
* If orbits free in GAMIT (RELAX) and you want them fixed,
use:
x apr_svs all F F F F F F FR
* but if you are combining with globk h-files, better to
leave them
* on but, if the models are incompatible, turn off
radiation-pressure parameters,
x apr_svs all 100 100 100 10 10 10 0R

* When using MIT GLX files which have satellite phase center
positions
* estimated use:
  apr_svan all F F F ! Fix antenna offset to IGS
apriori values.

```

File glorg.cmd

```
* Glorg command file for daily repeatabilities or
combinations

* Last edited by rwk 130701

* Parameters to be estimated
  pos_org  xtran ytran ztran xrot yrot zrot scale
#   or if translation-only
x pos_org xtran ytran ztran

* Downweight of height relative to horizontal (default is
10)
#   Heavy downweight if reference frame robust and heights
suspect
x  cnd_hgt  1000

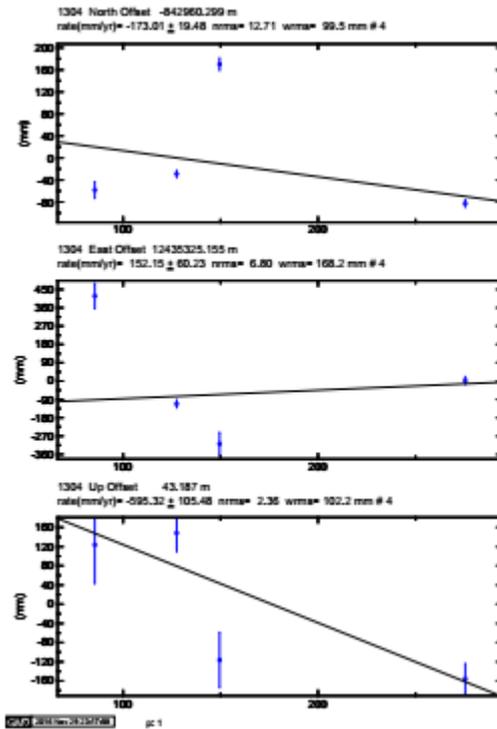
* Controls for removing sites from the stabilization
#   Vary these to make the stabilization more robust or more
precise
  stab_it 4 0.8 3.0
x stab_it 4 0.5 4.0

* A priori coordinates
#   ITRF2008 may be replaced by an apr file from a priori
velocity solution
  apr_file ../tables/lfile.itrf08.apr
x apr_file ../tables/regional.apr

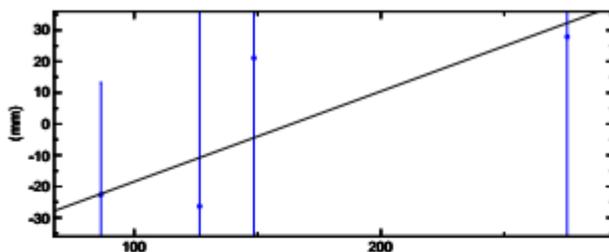
* List of stabilization sites
#   This should match the well-determined sites in the
apr_file
  stab_site clear
  stab_site 1304 1305 1307 artr bpn1 bpn6 bt01 bt03 bw08 bw13
cm01 kb01 kd01 ki01 mrtm pt11 vk09 vk13 vk14
```

LAMPIRAN 2

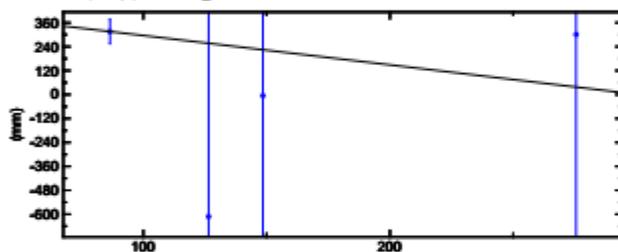
Plot Time Series Stasiun Pengamat



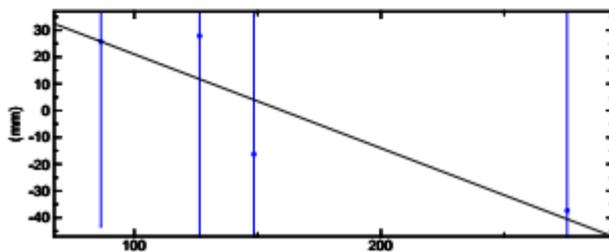
1305 North Offset -839911.006 m
rate(mm/yr)= 105.63 ± 233.31 nrms= 0.17 wrms= 11.1 mm # 4



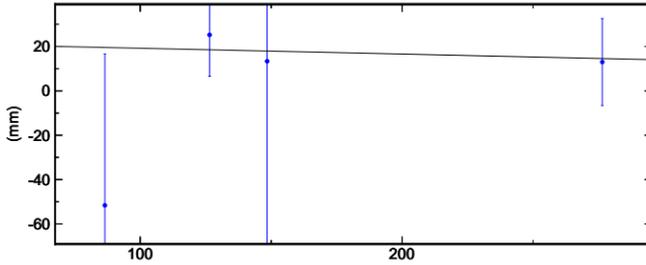
1305 East Offset 12436842.406 m
rate(mm/yr)= -537.71 ± 8889.07 nrms= 0.14 wrms= 16.4 mm # 4



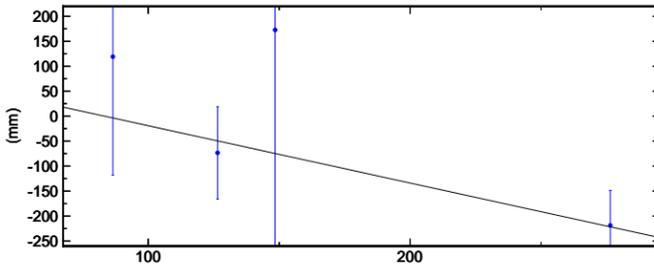
1305 Up Offset 38.929 m
rate(mm/yr)= -128.14 ± 8914.37 nrms= 0.00 wrms= 0.5 mm # 4



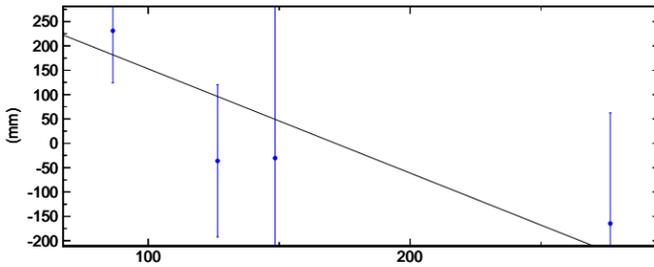
1307 North Offset -833889.111 m
rate(mm/yr)= -9.52 ± 63.26 nrms= 0.78 wrms= 20.7 mm # 4



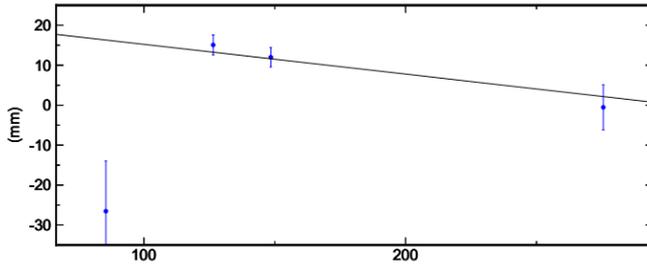
1307 East Offset 12439878.686 m
rate(mm/yr)= -418.93 ± 259.24 nrms= 0.41 wrms= 45.0 mm # 4



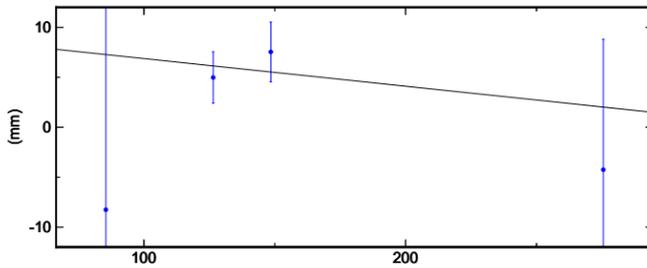
1307 Up Offset 32.617 m
rate(mm/yr)= -780.81 ± 481.93 nrms= 0.71 wrms= 116.2 mm # 4



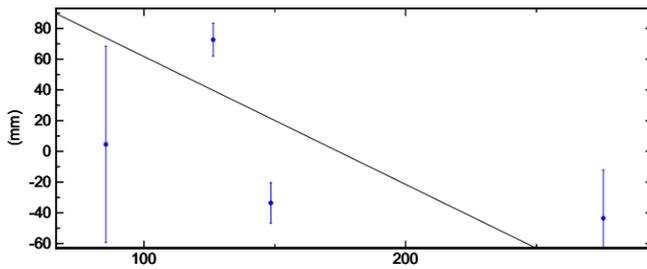
ARTR North Offset -839356.683 m
rate(mm/yr)= -27.24 ± 14.83 nrms= 2.49 wrms= 8.2 mm # 4



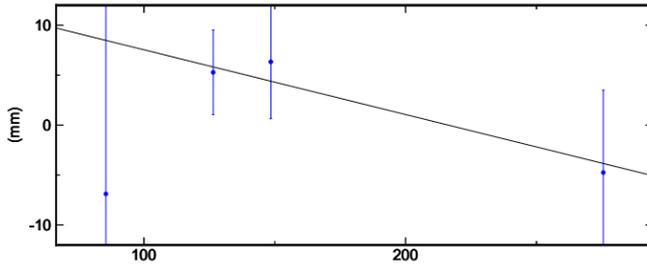
ARTR East Offset 12435445.681 m
rate(mm/yr)= -10.11 ± 30.31 nrms= 0.74 wrms= 2.8 mm # 4



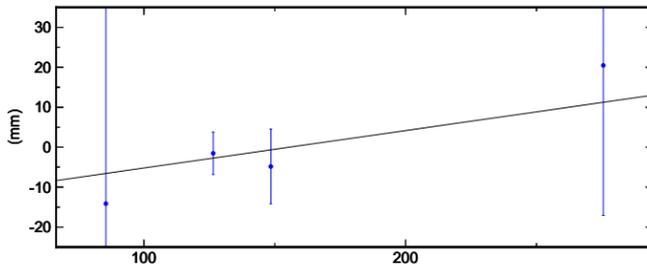
ARTR Up Offset 35.527 m
rate(mm/yr)= -304.15 ± 79.43 nrms= 3.84 wrms= 61.4 mm # 4



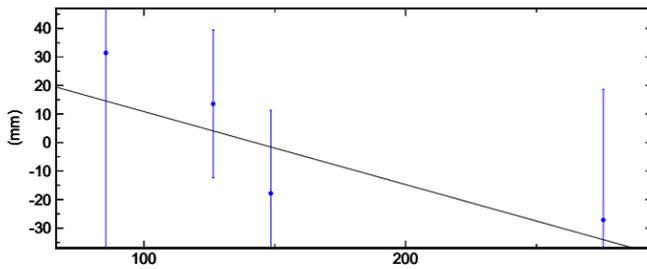
BPN1 North Offset -837012.104 m
rate(mm/yr)= -23.68 ± 22.44 nrms= 0.45 wrms= 2.8 mm # 4



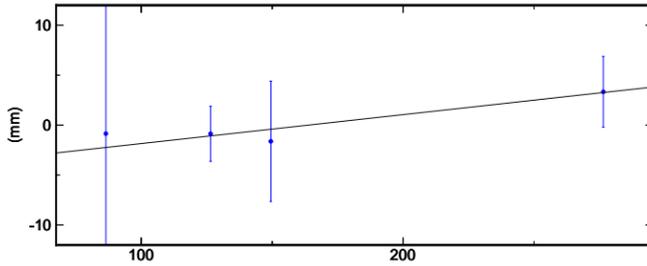
BPN1 East Offset 12441470.134 m
rate(mm/yr)= 34.27 ± 83.53 nrms= 0.40 wrms= 3.7 mm # 4



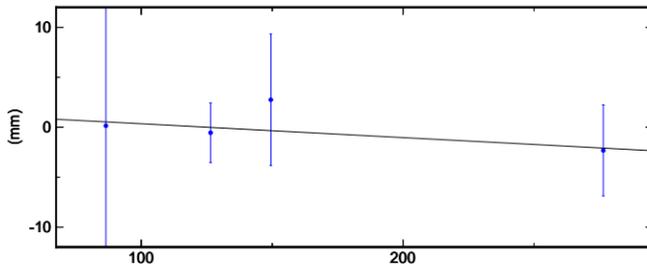
BPN1 Up Offset 30.691 m
rate(mm/yr)= -93.47 ± 123.81 nrms= 0.50 wrms= 17.5 mm # 4



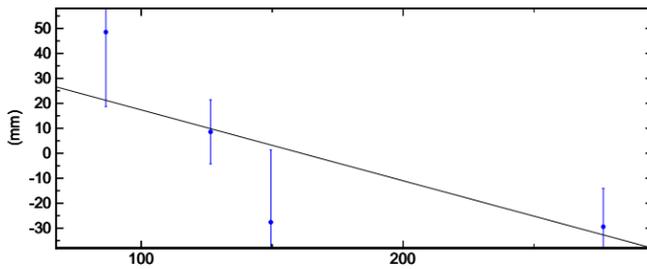
BPN6 North Offset -835410.165 m
rate(mm/yr)= 10.57 ± 10.77 nrms= 0.15 wrms= 0.6 mm # 4



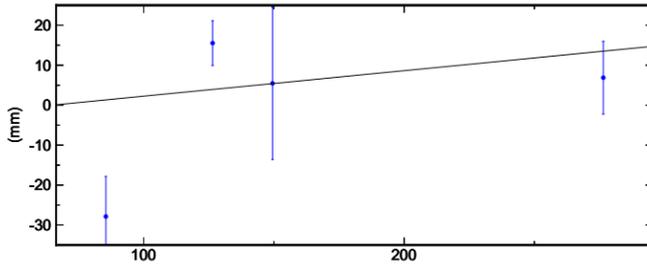
BPN6 East Offset 12443634.150 m
rate(mm/yr)= -5.05 ± 13.09 nrms= 0.36 wrms= 1.7 mm # 4



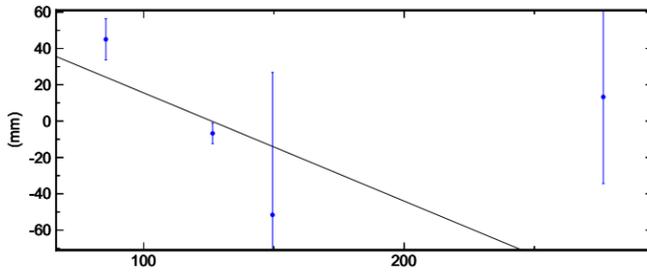
BPN6 Up Offset 30.317 m
rate(mm/yr)= -103.60 ± 44.48 nrms= 1.01 wrms= 18.0 mm # 4



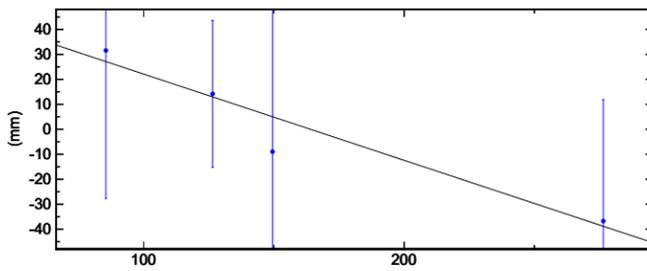
BT01 North Offset -835131.913 m
rate(mm/yr)= 23.31 ± 23.07 nrms= 2.58 wrms= 21.7 mm # 4



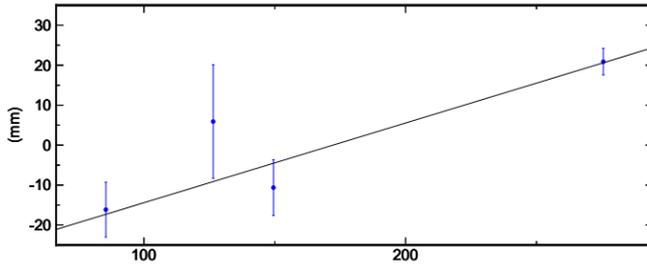
BT01 East Offset 12437978.064 m
rate(mm/yr)= -217.70 ± 78.79 nrms= 2.19 wrms= 22.1 mm # 4



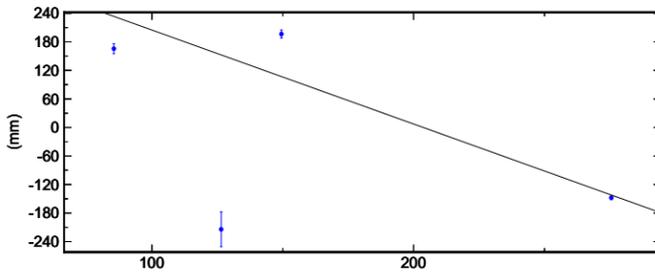
BT01 Up Offset 32.278 m
rate(mm/yr)= -126.16 ± 124.77 nrms= 0.17 wrms= 7.4 mm # 4



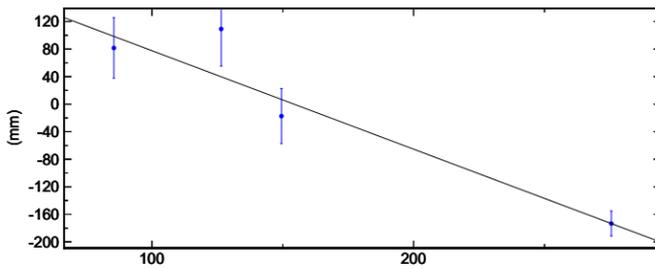
BT03 North Offset -836822.298 m
rate(mm/yr)= 72.90 ± 12.85 nrms= 0.98 wrms= 5.3 mm # 4



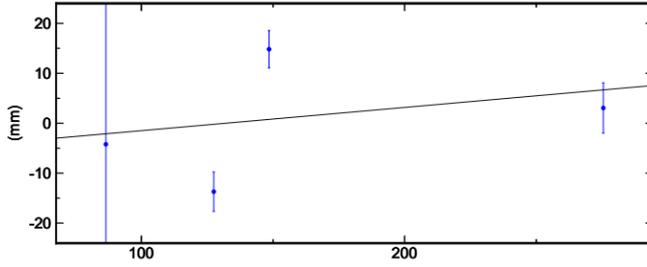
BT03 East Offset 12437746.657 m
rate(mm/yr)= -721.98 ± 18.20 nrms= 11.21 wrms= 77.6 mm # 4



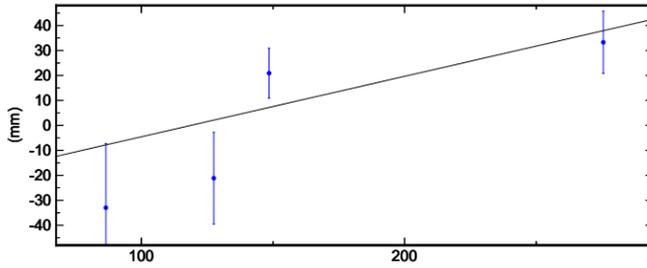
BT03 Up Offset 32.475 m
rate(mm/yr)= -522.28 ± 73.49 nrms= 1.04 wrms= 31.0 mm # 4



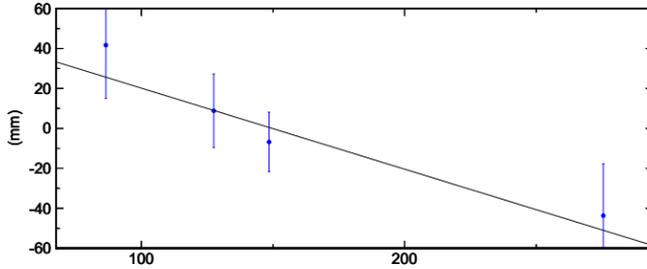
BW08 North Offset -836722.191 m
rate(mm/yr)= 17.00 ± 14.99 nrms= 3.63 wrms= 17.3 mm # 4



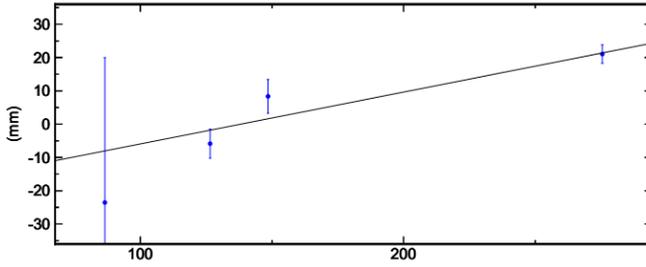
BW08 East Offset 12440369.634 m
rate(mm/yr)= 88.45 ± 38.49 nrms= 1.51 wrms= 20.9 mm # 4



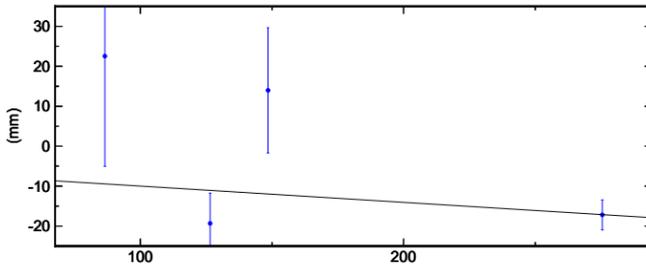
BW08 Up Offset 31.471 m
rate(mm/yr)= -148.15 ± 66.11 nrms= 0.58 wrms= 11.5 mm # 4



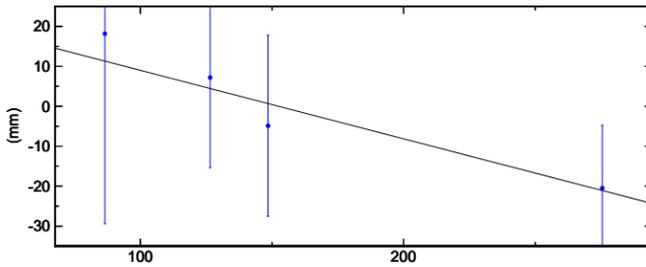
BW13 North Offset -838746.245 m
rate(mm/yr)= 56.82 ± 11.19 nrms= 1.18 wrms= 5.0 mm # 4



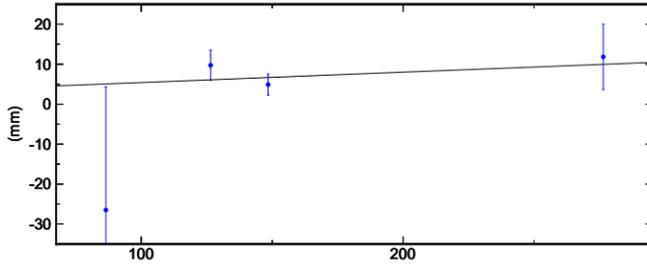
BW13 East Offset 12437654.987 m
rate(mm/yr)= -14.86 ± 18.77 nrms= 1.62 wrms= 10.6 mm # 4



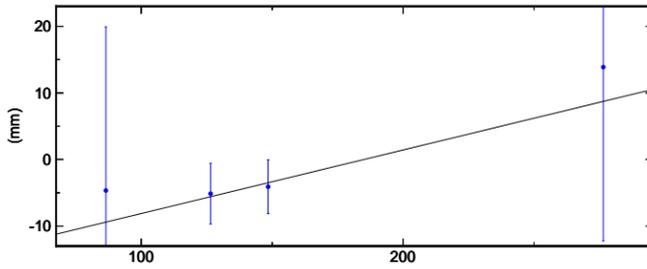
BW13 Up Offset 33.449 m
rate(mm/yr)= -62.60 ± 54.73 nrms= 0.22 wrms= 4.8 mm # 4



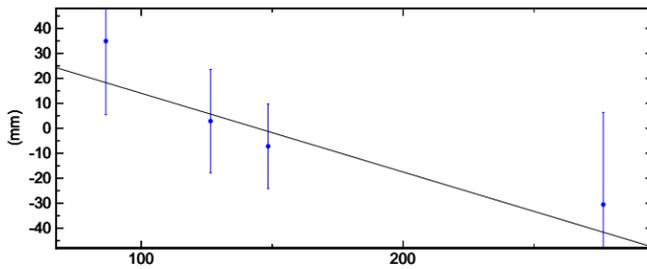
GMPL North Offset -841873.812 m
rate(mm/yr)= 9.44 ± 21.78 nrms= 1.11 wrms= 4.7 mm # 4



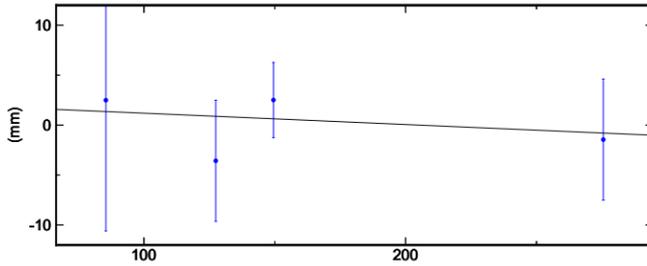
GMPL East Offset 12438496.563 m
rate(mm/yr)= 34.86 ± 54.29 nrms= 0.23 wrms= 1.4 mm # 4



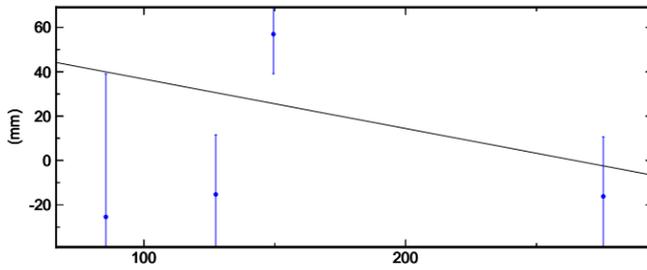
GMPL Up Offset 34.274 m
rate(mm/yr)= -115.15 ± 87.37 nrms= 0.52 wrms= 12.0 mm # 4



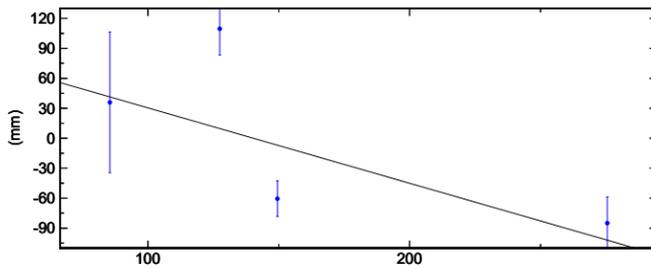
KB01 North Offset -839941.634 m
rate(mm/yr)= -4.15 ± 17.78 nrms= 0.63 wrms= 3.5 mm # 4



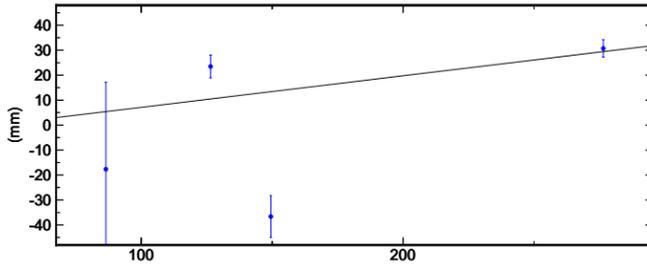
KB01 East Offset 12435024.831 m
rate(mm/yr)= -81.47 ± 79.71 nrms= 1.91 wrms= 48.6 mm # 4



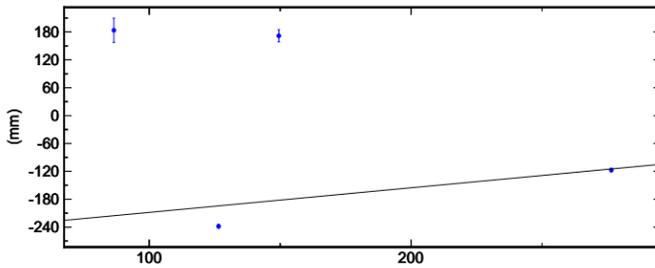
KB01 Up Offset 35.611 m
rate(mm/yr)= -275.84 ± 78.73 nrms= 3.46 wrms= 87.6 mm # 4



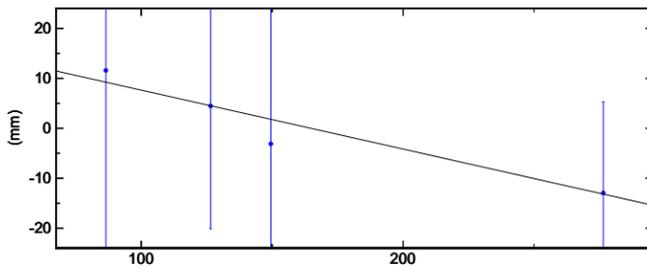
KD01 North Offset -835647.094 m
rate(mm/yr)= 46.19 ± 13.25 nrms= 4.72 wrms= 24.8 mm # 4



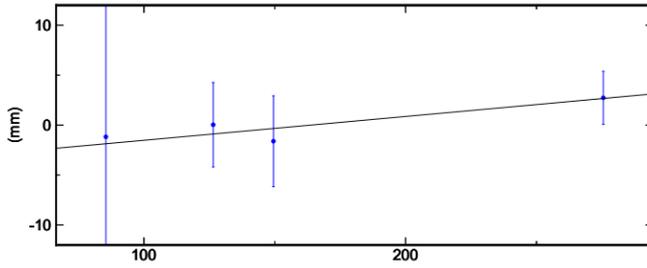
KD01 East Offset 12442430.065 m
rate(mm/yr)= 193.42 ± 13.54 nrms= 23.04 wrms= 127.6 mm # 4



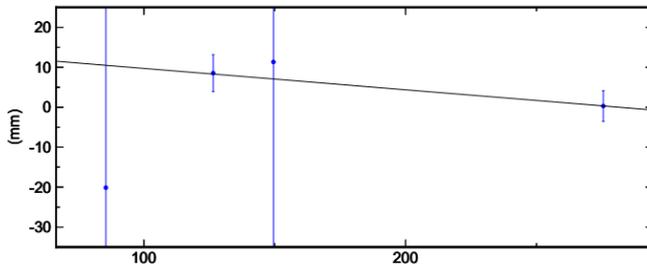
KD01 Up Offset 30.646 m
rate(mm/yr)= -43.11 ± 61.00 nrms= 0.08 wrms= 2.2 mm # 4



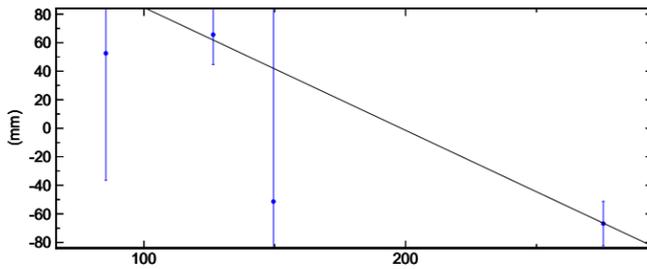
KJ01 North Offset -835948.342 m
rate(mm/yr)= 8.72 ± 10.66 nrms= 0.25 wrms= 1.0 mm # 4



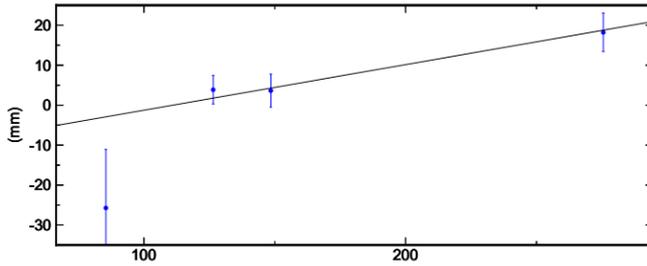
KJ01 East Offset 12442796.486 m
rate(mm/yr)= -19.58 ± 14.65 nrms= 0.36 wrms= 2.1 mm # 4



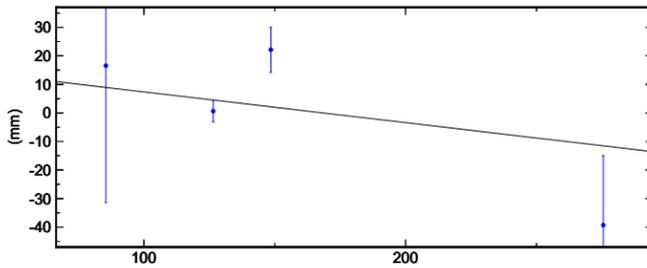
KJ01 Up Offset 31.033 m
rate(mm/yr)= -314.61 ± 61.70 nrms= 0.47 wrms= 11.5 mm # 4



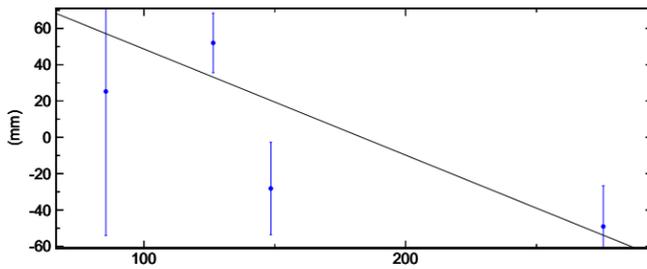
MRTM North Offset -834621.945 m
rate(mm/yr)= 41.70 ± 13.94 nrms= 1.18 wrms= 5.5 mm # 4



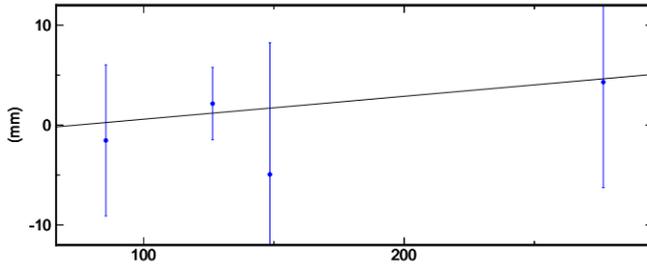
MRTM East Offset 12441630.931 m
rate(mm/yr)= -39.34 ± 56.32 nrms= 2.11 wrms= 14.0 mm # 4



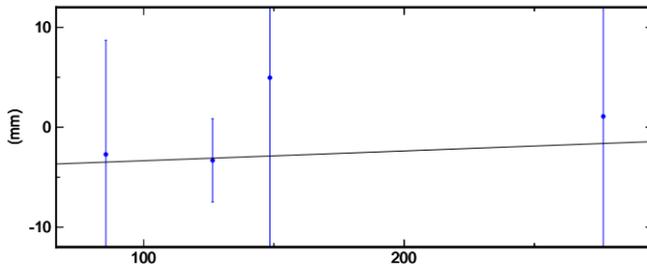
MRTM Up Offset 31.515 m
rate(mm/yr)= -213.44 ± 65.52 nrms= 1.60 wrms= 37.2 mm # 4



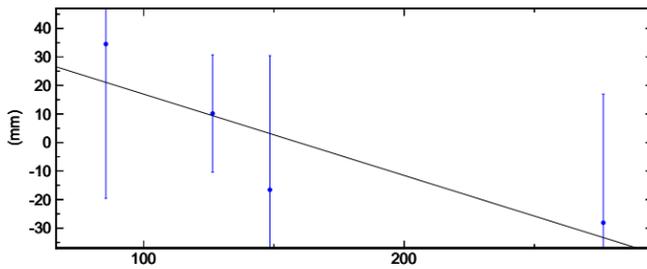
PT11 North Offset -834482.836 m
rate(mm/yr)= 8.37 ± 24.15 nrms= 0.44 wrms= 2.7 mm # 4



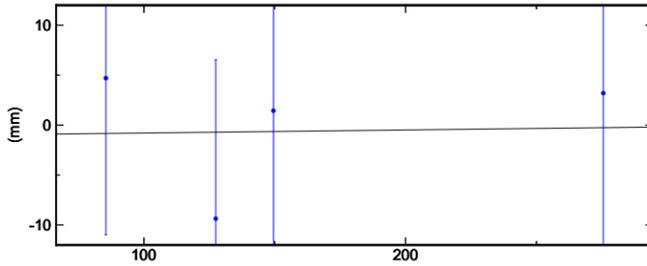
PT11 East Offset 12436620.761 m
rate(mm/yr)= 3.58 ± 85.82 nrms= 0.17 wrms= 1.3 mm # 4



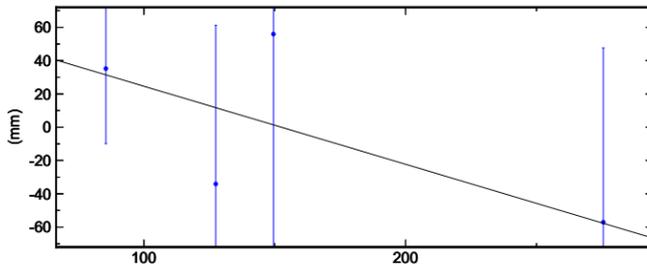
PT11 Up Offset 34.226 m
rate(mm/yr)= -104.07 ± 112.56 nrms= 0.36 wrms= 11.8 mm # 4



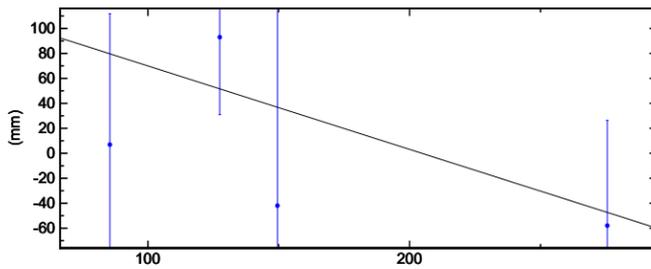
VK09 North Offset -838198.891 m
rate(mm/yr)= 1.13 ± 56.32 nrms= 0.48 wrms= 8.5 mm # 4



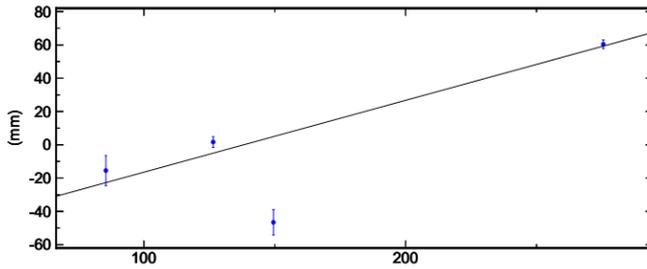
VK09 East Offset 12440274.017 m
rate(mm/yr)= -171.45 ± 216.52 nrms= 0.45 wrms= 33.1 mm # 4



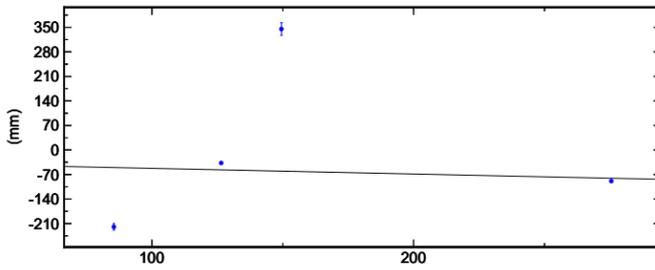
VK09 Up Offset 31.571 m
rate(mm/yr)= -244.24 ± 223.99 nrms= 0.76 wrms= 66.3 mm # 4



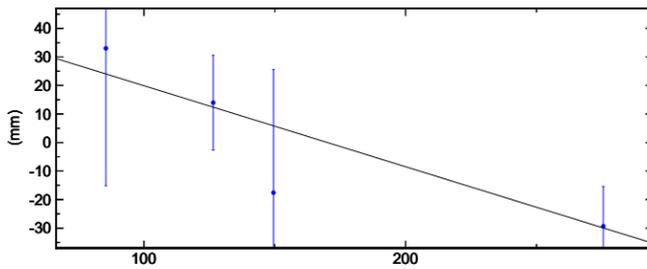
VK13 North Offset -839843.488 m
rate(mm/yr)= 157.70 ± 9.38 nrms= 5.00 wrms= 19.4 mm # 4



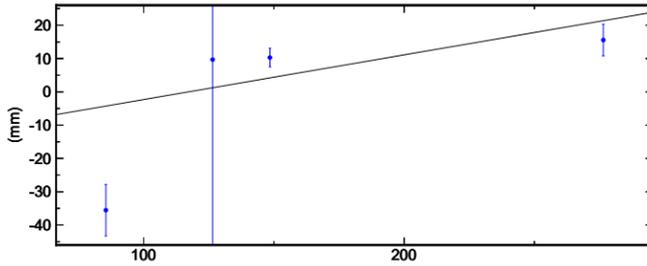
VK13 East Offset 12438309.318 m
rate(mm/yr)= -58.46 ± 11.50 nrms= 20.71 wrms= 101.0 mm # 4



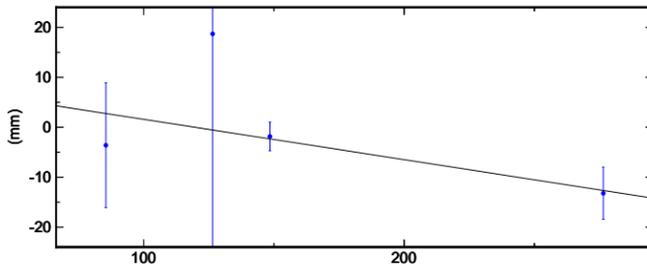
VK13 Up Offset 37.783 m
rate(mm/yr)= -103.76 ± 48.98 nrms= 0.41 wrms= 8.4 mm # 4



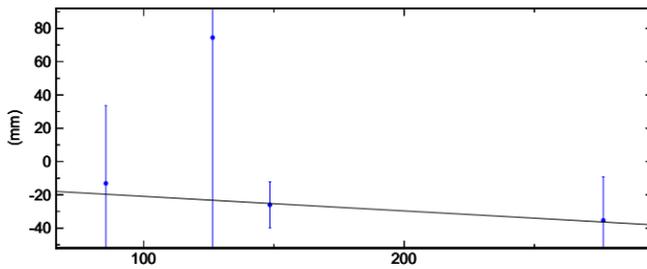
VK14 North Offset -839771.310 m
rate(mm/yr)= 49.04 ± 14.02 nrms= 3.36 wrms= 15.5 mm # 4



VK14 East Offset 12442439.452 m
rate(mm/yr)= -29.50 ± 16.09 nrms= 0.39 wrms= 1.9 mm # 4



VK14 Up Offset 36.461 m
rate(mm/yr)= -31.97 ± 77.26 nrms= 0.11 wrms= 2.6 mm # 4



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Kukuh Prakoso Sudarsono lahir di Surabaya pada tanggal 29 November 1994. Anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Ir. Heri Sudarsono dan Ir. Irin Prasetyowati. Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara lain SDS Hang Tuah 1 Surabaya, SMP Negeri 4 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Tahun 2012, penulis yang akrab dipanggil Kukuh atau Sreng ini diterima pada Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS. Selama menjalani perkuliahan, penulis juga cukup aktif di berbagai organisasi dan acara pada jurusan, fakultas dan institut, diantaranya penulis merupakan Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMAGE-ITS 2014/2015, Pemandu GERIGI ITS 2013/2014, dan Ketua Geomatics TEFL Activity 2014/2015. Adapun karya tulis yang pernah dihasilkan antara lain “*Studi Fenomena Mata Minus, Buta Warna Dan Anomali Tiga Dimensi Pada Anak Usia Sekolah Dasar Guna Penanganan Kerusakan Mata Berkelanjutan*”. Penulis mengambil penelitian tugas akhir di bidang keahlian ilmu Geodinamika dengan judul “Evaluasi Penurunan Tanah Kawasan Lumpur Sidoarjo Menggunakan GPS Geodetik dan Perangkat Lunak GAMIT”.