TUGAS AKHIR – RG141536

ANALISIS DEFORMASI VERTIKAL BANGUNAN BERTINGKAT KAMPUS ITS SUKOLILO MENGGUNAKAN METODE TERESTRIAL

RISMA INDRIYA LUDFI
NRP 033114 4000 0060

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Muhammad Taufik

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UNDERGRADUATE THESIS – RG141536

VERTICAL DEFORMATION ANALYSIS OF ITS SUKOLILO HIGH-RISE BUILDING USING TERRESTRIAL METHODS

RISMA INDRIYA LUDFI
NRP 033114 4000 0060

Lecturer
Dr. Ir. Muhammad Taufik

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environtment, Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS DEFORMASI VERTIKAL BANGUNAN BERTINGKAT KAMPUS ITS SUKOLILO MENGGUNAKAN METODE TERESTRIAL

Nama : Risma Indriya Ludfi
NRP : 03311440000060
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRAK

Pembangunan dapat mengakibatkan terjadinya pemampatan tanah akibat adanya beban tetap dalam jangka waktu tertentu. Dalam suatu pembangunan konstruksi, perlu diperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan kontruksi salah satunya adalah *settlement* atau penurunan elevasi tanah dasar yang disebabkan oleh lapisan tanah yang mengalami pembebanan di atasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa terjadinya *settlement* bangunan di Kampus ITS Sukolilo karena banyaknya pembangunan di lokasi yang dapat memberikan dampak pada lapisan tanah seiring dengan waktu. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran beda tinggi dengan membandingkan elevasi bangunan pada tiga bulan terakhir. Dari hasil penelitian, menunjukan bahwa bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo mayoritas mengalami penurunan elevasi. Bangunan yang mengalami penurunan elevasi setiap bulan adalah Perpustakaan, Gedung Rektorat, Teknik Fisika, Biologi, dan Teknik Elektro. Sedangkan Teknik Geomatika, Teknik Lingkungan, Teknik Sipil, dan Kimia mengalami penurunan dan mengalami kenaikan pada bulan selanjutnya. Teknik Fisika adalah bangunan yang mengalami penurunan terbesar, yaitu -0,045 m, dan Teknik Sipil adalah bangunan yang mengalami kenaikan terbesar sebesar +0,035 m.

Kata Kunci — Elevasi, Bangunan, *Settlement*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

VERTIKAL DEFORMATION ANALYSIS OF ITS SUKOLILO HIGH-RISE BUILDING USING TERRESTRIAL METHODS

Name	: Risma Indriya Ludfi
NRP	: 03311440000060
Departement	: Geomatics Engineering
Supervisor	: Dr. Ir. Muhammad Taufik

ABSTRACT

Development can lead to the occurrence of soil compression due to the load remains within a certain period. In a construction, to note matters relating to construction, one of which was a settlement or a decline in soil base elevation caused by layers of soil that suffered the imposition on it. The purpose of this research is to analyze the occurrence of settlement building on ITS Campus Sukolilo due to construction on site that can give impact on the soil over time. This research was conducted by doing the measurement difference by comparing the high elevation of the building in the last three months. From the results of research, showed that building on the campus of the ITS Sukolilo majority experiencing a decrease in elevation. The building suffered a drop in elevation of each month is the library, the building Moved, engineering, biology, Physics and electrical engineering. While Geomatics Engineering, environmental engineering, civil engineering, and chemical degradation and increase next month. Engineering Physics are building the biggest decline, IE-0.045 m, and civil engineering is building the largest increase of + 0.035 m.

Keywords - Elevation, Building, Settlement.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DEFORMASI VERTIKAL BANGUNAN BERTINGKAT KAMPUS ITS SUKOLILO MENGGUNAKAN METODE TERESTRIAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
RISMA INDRIYA LUDFI
NRP. 03311440000060

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Ir. Muhammad Taufik (.....)
NIP. 19550919 198603 1 001

SURABAYA, 27 JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir dengan judul "**Analisis Deformasi Vertikal Bangunan Bertingkat Kampus ITS Sukolilo Menggunakan Metode Terestrial"** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis baik secara moral maupun berupa material. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Almarhumah Ibu Ustin Zulkiftiah, Bapak Edi Supardji, Abiem Syaaban Syahriansyah, beserta seluruh keluarga Kandeg yang selama pelaksanaan tugas akhir hingga pembuatan laporan ini memberikan inspirasi, semangat, kasih sayang dan seluruh dukungannya kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, kesempatan, kesabaran, dukungan dan saran dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, MSc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
4. Zuardian Desrifan Egar yang sudah memberikan dukungan moril kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman yang membantu proses pengukuran untuk pengambilan data penelitian (Ayu Kurnia, Kevin, Dhon, Wahyu, Cemat, Juki, Nita, Zahra, Ody, Fuad, Rino, Rian, Lutfi, Elisya, Irsan, Adhi, Almas dan Mas Bekti)
6. Teman-teman G18 (Rara, Loly, Alfath, Nanda, Tiwi, Ismail, Carina, Aji, Tio, Naya, Ambang, Zenda, Ica, Markus, Roro, Rizki) yang sudah membantu proses pengambilan data di lapangan.

7. Teman-teman seperjuangan Teknik Geomatika angkatan 2014 yang telah menemani selama ini.
8. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan-kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan sebagai pembelajaran bagi penulis untuk menjadi lebih baik karena penulis menyadari bahwa dalam laporan.

Akhir kata, penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya dan ucapan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR – RG141536 i
UNDERGRADUATE THESIS – RG141536..... iii
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
LEMBAR PENGESAHAN..... viii
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvi
BAB I 1
PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah.....3
1.4 Tujuan.....4
1.5 Manfaat.....4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....5
2.1 Deformasi 5
2.2 Pengukuran Beda Tinggi 10
2.2.1 Prinsip dan Fungsi Pengukuran Beda Tinggi .12
2.2.2 Metode Pengukuran Beda Tinggi 13
2.3 Kesalahan Garis Bidik.....14
2.4 Sipat Datar (*Waterpass*) 17
2.4 Hitung Perataan 19

2.4.1 Hitung Kuadrat Terkecil Metode Parameter ..21
2.4.2 Hitung Kuadrat Terkecil Metode Bersyarat ...23
2.5 Penelitian Terdahulu.....24
BAB III METODOLOGI 27
3.1 Lokasi Penelitian 27
3.2 Data dan Peralatan.....28
3.2.1 Data 28
3.2.2 Peralatan 28
3.3 Metodologi Penelitian 29
3.3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....29
3.3.2 Diagram Alir Pengolahan Data 32
BAB IV HASIL DAN ANALISA 35
4.1 Kesalahan Garis Bidik.....35
4.2 Hasil 36
4.1.1 Elevasi Bangunan Awal Dibangun.....36
4.1.2 Rangkaian Titik Pengukuran 37
4.1.3 Elevasi Rangkaian Titik Pengukuran 38
4.1.4 Elevasi Bangunan 43
4.1.5 Evaluasi Penurunan Masing Bangunan 46
4.2 Analisa.....54
BAB V KESIMPULAN 57
5.1 Kesimpulan.....57
5.2 Saran.....57
DAFTAR PUSTAKA.....59
LAMPIRAN 62
BIODATA PENULIS.....102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Akibat dari *Settlement*.....6
Gambar 2. 2 Proses terjadinya *Settlement*.....7
Gambar 2. 3 Menara Pisa.....9
Gambar 2.4 Pengukuran Beda Tinggi Terbuka 10
Gambar 2. 5 *Waterpass*.....19
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....27
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian 29
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data.....32
Gambar 4. 1 BM Candi.....37
Gambar 4. 2 Rangkaian Titik Pengukuran.....38
Gambar 4. 3 Perbandingan Elevasi Setiap Bulan 45
Gambar 4. 4 Perpustakaan 46
Gambar 4. 5 Gedung Rektorat 47
Gambar 4. 6 Teknik Geomatika.....48
Gambar 4. 7 Teknik Sipil.....49
Gambar 4. 8 Teknik Lingkungan.....50
Gambar 4. 9 Biologi.....51
Gambar 4. 10 Teknik Elektro 52
Gambar 4. 11 Teknik Fisika 53
Gambar 4. 12 Kimia.....54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketelitian dan Toleransi.....11
Tabel 3. 1 Spesifikasi Waterpass Nikon AE-7C.....28
Tabel 4. 1 Elevasi Titik Pengukuran Maret 2018.....39
Tabel 4. 2 Elevasi Titik Pengukuran April 2018.....40
Tabel 4. 3 Elevasi Titik Pengukuran Mei 2018.....41
Tabel 4. 4 Elevasi Titik Pengukuran Setelah Perataan 2018 .42
Tabel 4. 5 Elevasi Bangunan.....43
Tabel 4. 6 Besar Penurunan Setiap Bulan.....44
Tabel 4. 7 Besar Penurunan Perpustakaan.....46
Tabel 4. 8 Besar Penurunan Gedung Rektorat.....47
Tabel 4. 9 Besar Penurunan Teknik Geomatika.....48
Tabel 4. 10 Besar Penurunan Teknik Sipil.....49
Tabel 4. 11 Besar Penurunan Teknik Lingkungan.....50
Tabel 4. 12 Besar Penurunan Biologi.....51
Tabel 4. 13 Besar Penurunan Teknik Elektro.....52
Tabel 4. 14 Besar Penurunan Teknik Fisika.....53
Tabel 4. 15 Besar Penurunan Kimia.....54

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan lahan untuk pembangunan akan mengakibatkan perubahan kedudukan lahan satu terhadap yang lain. Perubahan ini dapat menyebabkan terjadinya pemampatan tanah akibat adanya beban tetap dalam jangka waktu tertentu. Dalam suatu pembangunan konstruksi, perlu diperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan kontruksi tersebut, salah satunya adalah deformasi akibat beban bangunan (*settlement*). *Settlement* adalah penurunan elevasi tanah dasar yang disebabkan oleh lapisan tanah yang mengalami pembebanan di atasnya, sehingga menyebabkan tanah dibagian bawahnya mengalami kenaikan tegangan (Das 2002). *Settlement* dapat menyebabkan bangunan bergeser dan miring, misalnya pada pembangunan jalan tol, rumah disekitar jalan tol menjadi miring. Deformasi sendiri adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif (Haqqi dkk. 2015). Deformasi umumnya terjadi secara perlahan dan tidak dirasakan secara langsung, sehingga analisisnya perlu dilakukan secara berkala.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan salah satu perguruan tinggi negeri di Surabaya dan memiliki kampus utama di Sukolilo yang memiliki luas sekitar 188 hektar. Dengan luas tanah tersebut, kampus ITS menampung puluhan bangunan program studi, fasilitas umum, fasilitas olah raga, dan perumahan dosen serta karyawan (Supriyani 2018). Banyaknya sarana prasarana di wilayah permukaan Kampus ITS Sukolilo akan memberikan dampak pada lokasi tersebut seiring dengan waktu, salah satu dampak pembangunan tersebut adalah deformasi vertikal. Deformasi vertikal dapat diketahui

dengan melakukan pengukuran terhadap posisi bangunan yang satu terhadap yang lain.

Pengukuran deformasi vertikal dapat dilakukan menggunakan beberapa macam metode, diantaranya dengan pengukuran GPS, *waterpass* (*levelling*) dengan *microgravity* (menggunakan gravimeter), InSAR, DinSaR, dan sebagainya. Pemerintah Australia Barat bagian Survei dan Pemetaan Informasi Geografis dan Geospasial (2017) melakukan pengamatan deformasi pada jalan dan struktur (jembatan, gorong-gorong) di Australia Barat menggunakan *waterpass*, *total station*, dan pengamatan GNSS. Data yang dihasilkan pada pengamatan ini berupa identifikasi titik, *easting*, *northing*, elevasi, dan dekripsi titik. Selain menggunakan metode terestris, Fei Dai dan Ming Lu (2010) mengamati perubahan vertikal sebuah gedung menggunakan metode fotogrametri. Metode ini dilakukan dengan membuat 4 titik kontrol yang diletakkan pada sisi Gedung yang memungkinkan akan mengalami pengaruh terbesar apabila terjadi pergeseran pondasi. Pengamatan menggunakan metode fotogrametri ini dinilai cukup efektif dan mudah, karena perbedaan nilai elevasi yang dihasilkan antara metode terestris dan fotogrametri relatif kecil.

Berdasarkan beberapa metode yang telah dilakukan dalam pengamatan deformasi akibat beban bangunan, metode yang akan digunakan untuk mengamati deformasi vertikal bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo adalah metode terestris menggunakan alat *waterpass*. Hasil yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini akan dilakukan evaluasi nilai deformasi vertikal yang terjadi pada beberapa bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo dengan membandingkan elevasi bangunan saat awal dibangun dengan elevasi bangunan hasil pengamatan. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi awal dalam mengamati deformasi vertikal yang terjadi dan dapat dijadikan referensi dalam kebijakan

pembangunan bangunan bertingkat selanjutnya di Kampus ITS Sukolilo.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar nilai deformasi vertikal yang terjadi pada bangunan di Kampus ITS Sukolilo pada tahun 2018?
2. Dimana bangunan yang mengalami deformasi vertikal terbesar di Kampus ITS Sukolilo?
3. Bagaimana evaluasi hasil nilai deformasi vertikal bangunan di Kampus ITS Sukolilo sejak awal dibangun sampai tahun 2018?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bangunan yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah bangunan bertingkat Kampus ITS Sukolilo dengan mengambil 9 bangunan sebagai *sample*, yaitu:
   a. Departemen Biologi ITS
   b. Departemen Kimia ITS
   c. Departemen Teknik Elektro ITS
   d. Departemen Teknik Fisika ITS
   e. Departemen Teknik Geomatika ITS
   f. Departemen Teknik Lingkungan ITS
   g. Departemen Teknik Sipil ITS
   h. Gedung Rektorat ITS
   i. Perpustakaan ITS
2. Pengambilan data dilakukan tiga kali pada bulan Maret, April, dan Mei 2018.
3. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran beda tinggi menggunakan alat *waterpass*.

4. Melakukan pengukuran deformasi vertikal bangunan dengan metode *double stand* dan pulang pergi.
5. Hasil dan analisa penelitian dititik beratkan pada evaluasi deformasi vertikal bangunan sejak awal pembangunan dengan hasil pengukuran 2018.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai deformasi vertikal yang terjadi pada bangunan di Kampus ITS Sukolilo pada tahun 2018.
2. Mengetahui bangunan yang mengalami deformasi vertikal paling besar di Kampus ITS Sukolilo.
3. Mengevaluasi hasil deformasi vertikal bangunan di Kampus ITS Sukolilo sejak awal dibangun dengan hasil pengukuran tahun 2018.

1.5 Manfaat

Manfaat dari adanya penelitian ini adalah:

1. Menjadi referensi awal dalam pengamatan deformasi bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo.
2. Membantu perencanaan prasarana tata ruang dan wilayah maupun konstruksi bangunan untuk pembangunan berkelanjutan terkait deformasi yang terjadi pada suatu daerah tertentu.
3. Membantu menentukan kebijakan pembangunan konstruksi berdasarkan nilai deformasi bangunan.
4. Mengevaluasi pondasi dan struktur tanah sebelum melakukan pembangunan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

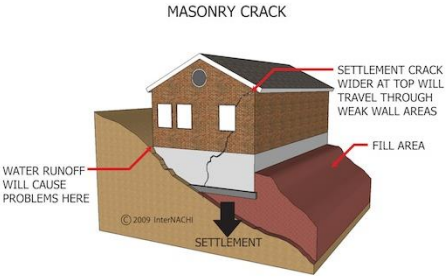
2.1 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang 1996). Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Dikatakan titik bergerak absolut apabila dikaji dari perilaku gerakan titik itu sendiri, dan dikatakan relatif apabila gerakan itu dikaji dari titik yang lain. Perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada umumnya mengacu kepada suatu sistem kerangka referensi (absolut atau relatif). Untuk mengetahui sifat deformasi yang terjadi dibutuhkan informasi mengenai status geometrik dari materi berupa posisi, bentuk, dan dimensi yang dapat diperoleh melalui analisis geometrik menggunakan data hasil pengamatan geodetik terhadap gaya respon suatu benda terhadap gaya deformasi (Haqqi dkk. 2015).

Deformasi dapat terjadi secara perlahan, atau juga secara mendadak. Dalam beberapa kejadian, deformasi berkisar dalam beberapa sentimeter per tahun. Perubahan deformasi yang bersifat mendadak biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang nyata dan dapat diketahui secara langsung besar dan kecepatan penurunannya. Namun untuk deformasi yang bersifat perlahan diketahui setelah kejadian yang berlangsung lama, besar penurunannya bisa ditentukan dengan mekanisme secara periodik. (Ardiansyah 2012).

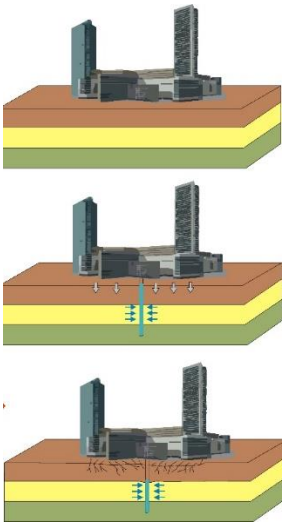
Deformasi secara tidak langsung memadatkan struktur tanah yang belum padat menjadi padat yang umumnya terjadi pada daerah berupa rawa, delta, endapan banjir dan sebagainya yang di alihkan fungsi tataguna lahannya tanpa

melakukan rekayasa tanah terlebih dahulu. Salah satu penyebab utama terjadinya deformasi adalah beban berat yang ada diatas bumi seperti struktur bangunan yang membuat lapisan tanah di bawahnya mengalami kompaksi atau konsolidasi (Kurniawan 2013). Konsolidasi tanah merupakan salah satu masalah utama dalam studi geomekanik. Salah satu masalah mengenai konsolidasi tanah yang paling terkenal adalah Menara Pisa yang mengalami kegagalan pondasi. Menara ini dibangun diatas pondasi tanah yang tidak stabil, sehingga sebelum menara ini selesai dibangun, menara ini sudah mengalami *kemiringan. Permasalahan* konsolidasi sering ditemui pada bangunan, misalnya retak pada dinding. Retak ini umumnya terjadi karena pondasi rumah mengalami *settlement* yang kemudian menyebabkan terjadinya tegangan tarik pada dinding bangunan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Akibat dari *Settlement* (Gromicko dan Shepard, 2017)

Settlement adalah penurunan elevasi tanah dasar yang disebabkan oleh lapisan tanah yang mengalami pembebanan di atasnya, sehingga menyebabkan tanah dibagian bawahnya mengalami kenaikan tegangan. *Settlement* dapat menyebabkan bangunan bergeser dan miring. Gambar 2.2 menunjukan proses terjadinya *settlement* pada bangunan bertingkat.



Gambar 2. 2 Proses terjadinya *Settlement* (Gromicko dan Shepard, 2017)

Pada dasarnya deformasi adalah perubahan bentuk yang diakibatkan oleh gaya. Selain itu juga bisa diartikan sebagai pergeseran yang mencakup translasi dan orientasi. Dan deformasi ini umumnya terjadi pada benda padat. Deformasi vertikal adalah perubahan bentuk akibat gaya yang terjadi pada skala satu dimensi. Satu dimensi ini biasanya diartikan dengan tinggi (H). Pemantauan deformasi vertikal dilakukan dengan menggunakan alat ukur beda tinggi yaitu sipat datar atau dengan teknologi satelit menggunakan satelit navigasi GPS.

Hal pertama yang dilakukan dalam pemantauan deformasi vertikal adalah menentukan posisi titik-titik yang akan diukur. Penentuan titik-titik tersebut bisa di dalam area deformasi saja atau diluar dan didalam area deformasi. Setelah pemilihan posisi titik-titik tersebut dengan menggunakan instrument pengukur ketinggian baik dengan cara konvensional maupun cara modern dapat diketahui posisi tingginya dan juga kitinggian dari masing-masing titik. Tinggi masing-masing titik merupakan suatu

himpunan dari titik-titik (banyak titik) yang bisa digunakan untuk penentuan bidang referensi tinggi (bidang fisis bumi), selanjutnya disederhanakan atau dirata-ratakan menjadi geoid yang selanjutnya bisa dipakai sebagai MSL (*Mean Sea Level*).

Melalui penurunan muka tanah serta indikatornya dilakukan pengolahan data secara geodesi yaitu dengan penentuan posisi (z) atau penentuan posisi menggunakan metode jaring sipat datar. Dari hasil penurunan tanah tersebut juga dihasilkan suatu akibat untuk internal tanah yaitu berpengaruh pada struktur lapisan tanah, serta eksternal tanah yang lebih berpengaruh ke bidang konstruksi yang akhirnya juga berpengaruh kepada penataan ruang (penetapan kawasan yang sesuai).

Kemudian dilakukan suatu survei deformasi dengan menggunakan kerangka relatif (kerangka yang pengambilan kerangkanya hanya di area deformasi) dan absolute (kerangka yang pengambilan kerangkanya di dalam area dan di luar area deformasi). Dari hasil survei deformasi tersebut, dikombinasikan dengan metode jaring sipat datar, diperoleh jaring sipat datar kinematik.

Hasil dari jaring sipat datar kinematik, dengan perhitungan yang sedemikian rupa diperoleh model kinematik. Selanjutnya dari model kinematik tersebut di koreksi menggunakan metode hitung perataan, dengan memasukkan berbagai macam koreksi sehingga kesalahan pengukuran tersebut masuk toleransi. Jika pengukuran sudah dikoreksi, dihasilkan suatu pengukuran yang "benar" sehingga dari model kinematik terkoreksi bisa diketahui besar dan arah dari kecepatan dan percepatan penurunan titik. Dari kumpulan titik tersebut membentuk suatu bidang, sehingga bisa diketahui pula kecepatan dan percepatan penurunan muka tanah.

Kecepatan dan percepatan inilah yang nantinya akan menjadi informasi atau sumber data untuk berbagai macam keperluan. Salah satunya untuk keperluan perencanaan,

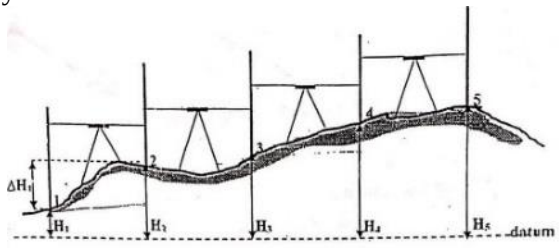
yang dapat mempengaruhi penataan ruang (penetapan kawasan yang sesuai) (Pahlevi 2008). Gambar 2.3 menunjukan salah satu akibat terjadinya deformasi vertikal, yaitu Menara Pisa Italia. Menara ini pertama kali miring setelah lantai ketiga dibangun di tahun 1178, dikarenakan amblasnya pondasi sedalam tiga meter, akibat pergerakan tanah.

Gambar 2. 3 Menara Pisa (Mulyana, 2015)

2.2 Pengukuran Beda Tinggi

Pengukuran beda tinggi adalah pengukuran untuk menentukan ketinggian atau beda tinggi antara dua titik. Pengukuran beda tinggi ini sangat berguna untuk mendapatkan data sebagai keperluan pemetaan, perencanaan, ataupun untuk pekerjaan konstruksi. Hasil-hasil dari pengukuran waterpass di antaranya digunakan untuk perencanaan jalan, jalan kereta api, saluran, penentuan letak bangunan gedung yang didasarkan atas elevasi tanah yang ada, perhitungan urugan dan galian tanah, penelitian terhadap saluran-saluran yang sudah ada, dan lain-lain. Untuk mendapatkan tinggi suatu titik perlu dilakukan pengukuran beda tinggi antara suatu titik terhadap titik yang telah diketahui tingginya dengan menggunakan alat sipat datar atau *waterpass*. Pengukuran beda tinggi bertujuan untuk menentukan tinggi titik-titik yang dicari (koordinat vertikal) terhadap bidang referensi.

Pengukuran beda tinggi dapat menggunakan pengukuran secara terbuka dan tertutup. Pengukuran beda tinggi terbuka adalah pengukuran yang titik awal dan titik akhirnya tidak saling bertemu seperti pada Gambar 2.4 Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan tinggi titik lainnya dengan mengetahui tinggi dari titik 1 titik referensi. Jenis pengukuran yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini adalah pengukuran beda tinggi terbuka karena hanya memiliki 1 titik referensi atau titik acuan.



Gambar 2.4 Pengukuran Beda Tinggi Terbuka (Supadiningsih, 2004)

Adapun perhitungan pengukuran beda tinggi adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kesalahan penutup tinggi

$$\sum \Delta hi = \Delta hA1 + \Delta h12 + \ldots + \Delta hn \quad (2.1)$$

2. Menghitung total jarak

$$\sum \Delta Di = DA1 + D12 + \ldots + Dn \quad (2.2)$$

3. Koreksi

$$\text{Koreksi A ke 1 } (\Delta h1') = \frac{D12}{\sum Di} \text{ x k, dst} \quad (2.3)$$

4. Elevasi

$$H1 = HA + \Delta h1', \text{ dst} \quad (2.4)$$

5. Ketentuan dan toleransi

$$T = \pm K \sqrt{D_{(km)}}$$

Tabel 2. 1 Ketelitian dan Toleransi (Supadiningsih, 2004)

Waterpass	Amerika	Belanda
Orde-1	$4\sqrt{D_{km}}$ mm	$3\sqrt{D_{km}}$ mm
Orde-2	$8{,}4\sqrt{D_{km}}$ mm	$4\sqrt{D_{km}}$ mm
Orde-3	$12\sqrt{D_{km}}$ mm	$6\sqrt{D_{km}}$ mm

kesalahan < toleransi (pengukuran memenuhi syarat)
kesalahan > toleransi (pengukuran tidak memenuhi syarat)

Keterangan:
T = Toleransi dalam satuan millimeter
K = Konstanta yang menunjukan tingkat ketelitian pengukuran
Δh = Beda tinggi
H = Elevasi
D = Jarak
k = Kesalahan

2.2.1 Prinsip dan Fungsi Pengukuran Beda Tinggi

Pengukuran beda tinggi dilakukan dengan menggunakan alat sipat datar (waterpass). Prinsip pengukuran beda tinggi adalah alat didirikan pada suatu titik yang diarahkan pada dua buah rambu yang berdiri vertikal. Maka beda tinggi dapat dicari dengan menggunakan pengurangan antara bacaan muka dan bacaan belakang. Rumus beda tinggi antara dua titik adalah sebagai berikut:

$$BT = BT_B - BT_A \quad (2.8)$$

Keterangan:
BT = Beda Tinggi
BT_A = Bacaan Benang Tengah A
BT_B = Bacaan Benang Tengah B

Sebelum mendapatkan beda tinggi antara dua titik, diperlukan terlebih dahulu pembacaan benang tengah titik tersebut, dengan menggunakan rumus:

$$BT = \frac{BA+BB}{2} \quad (2.9)$$

Keterangan:
BT = Bacaan Benang Tengah
BA = Bacaan Banang Atas
BB = Bacaan Benang Bawah

Untuk mencari jarak optis antara dua titik dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$J=(BA-BB) \times 100 \quad (2.10)$$

Keterangan:
J = Jarak Datar Optis
BA = Bacaan Benang Atas
BB = Bacaan Benang Bawah
100 = Konstanta Pesawat

2.2.2 Metode Pengukuran Beda Tinggi

Pengukuran beda tinggi adalah proses penentuan ketinggian dari sejumlah titik atau pengukuran perbedaan elevasi. Perbedaan yang dimaksud adalah perbedaan tinggi di atas air laut ke suatu titik tertentu sepanjang garis vertikal. Perbedaan tinggi antara titik-titik dapat ditentukan dengan garis sumbu pada *waterpass* yang ditunjukkan pada rambu vertikal. Tujuan dari pengukuran sipat datar adalah mencari beda tinggi antara dua titik yang diukur. Misalnya bumi, bumi mempunyai permukaan ketinggian yang tidak sama atau mempunyai selisih tinggi. Apabila selisih tinggi dari dua buah titik dapat diketahui maka tinggi titik kedua dan seterusnya dapat dihitung setelah titik pertama diketahui tingginya. Dalam pengukuran beda tinggi sipat datar, terdapat beberapa metode pengukuran, yaitu metode pulang pergi dan metode *double stand*. Untuk penjelasan beberapa metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Metode Pulang Pergi

   Pada saat pembacaan rambu, digunakan metode pulang pergi, yaitu setelah mengukur beda tinggi AB, maka, rambu A dipindahkan ke titik C untuk mengukur beda tinggi BC sehingga akan kita dapatkan beda tinggi BC. Setelah itu, rambu B dipindahkan ke titik D sehingga akan di dapat beda tinggi CD. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan rambu yang diakibatkan skala nol pada rambu yang dikeluarkan oleh pabrik tidak berada pada skala nol sebenarnya. Pengukuran pergi dilakukan pada pagi hari yang dimulai dari titik referensi awal sampai titik akhir poligon, sedangkan pengukuran pulang dilakukan pada siang hari yang dimulai dari

titik akhir poligon sampai titik referensi awal. Pengukuran pulang pergi bertujuan untuk mengkoreksi data hasil pengukuran pada pagi hari dengan sore hari. Setelah semua data terkoreksi, maka beda tinggi antara dua titik dapat diketahui dengan rata-rata beda tinggi antara pengukuran pergi dan pengukuran pulang.

$$\Delta h = \frac{\Delta h_{pergi} + \Delta h_{pulang}}{2} \qquad (2.11)$$

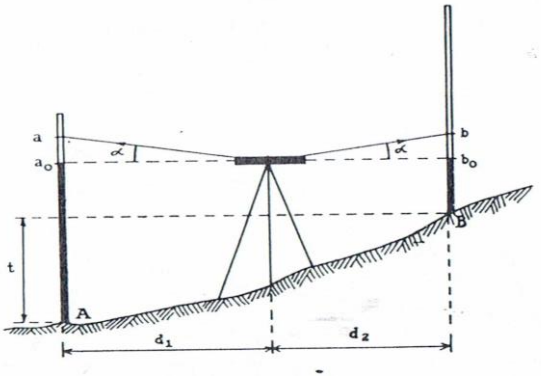
2. Metode Dua Kali Berdiri Pesawat (*Double Stand*)

   Mendirikan *waterpass* di antara dua titik target merupakan pekerjaan yang sering dijumpai dilapangan. Penempatan *waterpass* di antara dua titik target ini tidak perlu segaris dengan kedua titik tersebut, yang penting jarak diantara *waterpass* dan titik-titik tersebut diusahakan sama atau hampir sama panjangnya. Metode *double stand* ini dilakukan dengan melakukan *levelling* sebanyak 2x diantara titik yang sama. Metode ini dilakukan untuk membandingkan bacaan antara *levelling* pertama dengan levelling kedua. Apabila jarak antara kedua bacaan jauh, maka perlu dilakukan pembacaan ulang.

2.3 Kesalahan Garis Bidik

Salah satu kesalahan yang terdapat pada alat ukur penyipat datar ialah kesalahan garis bidik yakni kondisi dimana garis bidik tidak sejajar dengan garis arah nivo. Diketahui bahwa untuk mendapatkan beda tinggi antara dua titik, rambu ukur diletakkan di atas dua titik harus dibidik dengan garis bidik yang mendatar. Semua

pembacaan yang dilakukan dengan garis bidik mendatar diberi indeks nol, sehingga pada gambar 2.5 pembacaan garis bidik yang mendatar adalah a_0 dan b_0, sedangkan pembacaan-pembacaan yang dilakukan dengan garis bidik miring dinyatakan dengan a dan b, tidak dengan indeks. Bila gelembung di tengah-tengah, garis arah nivo mendatar, dan garis bidik tidak sejajar dengan garis arah nivo, maka garis bidik akan miring dan membuat sudut α dengan garis arah nivo, sehingga pembacaan kedua mistar akan menjadi a dan b.



Gambar 2. 5 Pengukuran Beda Tinggi antara Dua Titik (Wongsotjitro, 2017)

Beda tinggi antara titik A dan B sama dengan $t = a_0 - b_0$. Sekarang akan dicari hubungan antara selisih pembacaan a dan b yang akan didapat apabila garis bidik mendatar, sehingga sejajar dengan garis arah nivo.

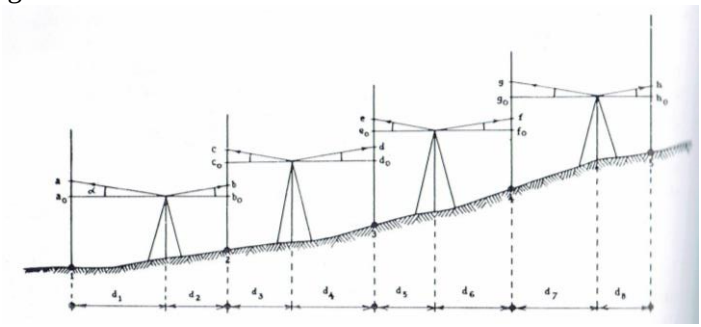
$$\begin{aligned} a - b &= (a_o + \overline{a_o a}) - (b_o + \overline{b_o b}) \\ &= (a_o - b_o) + (\overline{a_o a} - \overline{b_o b}) \\ &= t + (\overline{a_o a} - \overline{b_o b}) \end{aligned} \qquad (2.12)$$

Dari rumus di atas dapat dilihat, bahwa selisih dua pembacaan yang di dapat dengan garis bidik yang tidak

sejajar dengan garis arah nivo menjadi beda tinggi, bila $a_0a - b_0b = 0$ atau $a_0a = b_0b$. Pada gambar 2.5 dapat dilihat bahwa $a_0a - d_1 \text{ tg } \alpha$ dan $b_0b = d_2 \text{ tg } \alpha$, sehingga $d_1 \text{ tg } \alpha$ harus sama dengan $d_2 \text{ tg } \alpha$ dan karena $\text{tg } \alpha \neq 0$ atau $\text{tg } \alpha \neq \sim$, maka $d_1 = d_2$.

Dapat disimpulkan untuk menghilangkan pengaruh tidak sejajarnya garis bidik dengan garis arah nivo, tempatkan alat ukur penyipat datar di tengah-tengah antara dua mistar yang di bidik. Alat ukur penyipat datar tidak perlu diletakkan pada garis lurus yang menghubungkan alas dua mistar, asalkan $d_1 = d_2$. Namun dalam prakteknya tidak selalu mungkin menempatkan alat ukut penyipat datar di tengah-tengah antara dua mistar, karena keadaan lapangan yang tidak memungkinkan.

Pada gambar 2.6 merupakan pengukuran menyipat datar antara titik 1 dan 5. Pembacaan-pembacaan dilakukan dengan garis bidik yang sejajar dengan garis arah nivo diberi indeks nol lagi, sedangkan embacaan-pembacaan dengan garis bidik tidak sejajar dengan garis arah nivo tidak diberi indeks. Semua pembacaan dilakukan dengan gelembung nivo di tengah-tengah, jadi dengan garis arah nivo mendatar. Selanjutnya beda tinggi antara titik 1 dan titik 5 adalah jumlah beda tinggi antara titik-titik yang terletak antara titik 1 dan titik 5.



Gambar 2. 6 Pengukuran Menyipat Datar (Wongsotjitro, 1997)

Dari gambar 2.6 dapat dilihat bahwa semua jarak dengan indeks ganjil adalah jarak-jarak ke mistar belakang dan semua jarak dengan indeks genap adalah jarak-jarak ke mistar muka. Maka supaya pengaruh tidak sejajarnya garis bidik dengan garis arah nivo dapat dihilangkan, haruslah jumlah jarak ke mistar belakang selalu sama dengan jumlah jarak ke mistar muka, sehingga Σd belakang = Σd muka.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa menurut (Wongsotjitro,1977) ada dua cara untuk menghilangkan pengaruh tidak sejajarnya garis bidik dengan garis arah nivo:

a. Tempatkan alat ukur penyipat datar selalu dengan jarak yang sama ke mistar belakang dan ke mistar muka.
b. Tempatkan alat ukur penyipat datar sedemikian rupa sehingga antara dua titik ujung yang akan ditentukan beda tingginya jumlah jarak ke mistar belakang sama dengan jumlah jarak ke mistar muka.

2.4 Sipat Datar (*Waterpass*)

Alat sipat datar digunakan untuk mendapatkan garis lurus mendatar garis bidik (garis penghubung lurus pusat objektif teropong dengan perpotongan benang silang diafragma). Pada dasarnya alat sipat datar dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu:

1. Teropong, membidik rambu (dengan garis bidik) dan memperbesar bayangan rambu.
2. Nivo tabung, diletakkan pada teropong untuk mengatur garis bidik mendatar.
3. Kiap (*levelling base* atau *base plate*) padanya terdapat sekrup-sekrup krap (umumnya tiga buah) dan nivo kotak yang digunakan untuk menegakkan sumbu tegak teropong.

Seperti pada *theodolite*, teropong pada alat sipat datar terdiri dari tiga tabung ada pula yang terdiri dari dua tabung.

Di dalamnya terdapat lensa objektif, lensa penolong (untuk teropong dengan dua tabung) dan benang silang untuk benang diafragma yang terletak pada bidang diafragma. Bidang diafragma umumnya berbentuk layer tembus pandang dan benang-benang silang diafragma digoreskan pada lempeng kaca tersebut. Teropong sipat datar dihubungkan dengan sumbu putar yang disebut sumbu tegak (sumbu kesatu) yang memungkinkan teropong dapat digezer horizontal (Supadiningsih 2004)

Waterpass adalah suatu alat ukur tanah yang dipergunakan untuk mengukur beda tinggi antara titik-titik saling berdekatan. Beda tinggi tersebut ditentukan dengan garis-garis visir (sumbu teropong) horizontal yang ditunjukan ke rambu-rambu ukur yang vertikal. Pengukuran yang menggunakan alat ini disebut dengan *levelling*. Pekerjaan ini dilakukan dalam rangka penentuan tiggi suatu titik yang akan ditentukan ketiggiannya berdasarkan suatu sistem referensi atau bidang acuan. Sistem referensi atau acuan yang digunakan adalah tinggi muka air air laut rata-rata atau *Mean Sea Level (*MSL) atau sistem referensi lain yang dipilih. Sistem referensi ini mempunyai arti sangat penting, terutama dalam bidang perairan, misalnya irigasi, hidrologi, dan sebagainya.

Untuk menentukan ketinggian suatu titik di permukaan bumi tidak selalu harus mengukur beda tinggi dari muka laut (MSL), namun dapat dilakukan dengan titik-titik tetap yang sudah ada disekitar lokasi pengukuran. Titik-titik tersebut umumnya telah diketahui ketinggiannya Mmaupun kordinatnya (X, Y, Z) yang disebut *Bench Mark* (BM). *Bench Mark* merupakan suatu tanda yang jelas (mudah ditemukan) dan kokoh dipermukaan bumi yang berbentuk tugu atau patok beton sehingga terlindung dari faktor-faktor pengrusakan. Manfaat penting lainnya dari pengukuran *levelling* ini adalah untuk kepentingan proyek-proyek yang

berhubungan dengan pekerjaan tanah misalnya untuk menghitung volume galian dan timbunan.

Dalam melakukan pengukuran sipat datar dikenal adanya tingkat-tingkat ketelitian sesuai dengan tujuan proyek yang bersangkutan. Hal ini dikarenakan pada setiap pengukuran akan selalu terdapat kesalah-kesalahan. Fungsi tingkat-tingkat ketelitan tersebut adalah batas toleransi kesalahan pengukuran yang diperbolehkakan. Untuk itu perlu diantisipasi kesalah tersebut agar di dapat suatu hasil pengukuran untuk memenuhi batasan toleransi yang telah ditetapkan.

Gambar 2. 7 *Waterpass* (Nikon, 2014)

2.4 Hitung Perataan

Teknik perataan atau hitung perataan mempunyai tujuan untuk menentukan nilai yang paling sesuai (*the most plausible value*) dengan sederetan hasil pengukuran yang bersifat acak, yaitu pengukuran yang telah bebas dari kesalahan besar dan kesalahan sistematik. Nilai yang paling sesuai dengan data pengukuran tersebut didapatkan setelah data pengukuran diberi koreksi yang mempunyai sifat acak (Lando 2011). Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari pengukuran, diperlukan kriteria-kriteria tertentu sehingga hanya sejumlah nilai koreksi tertentu saja yang dihitung.

Terdapat banyak kriteria yang dapat digunakan, salah satu kriteria yang umum digunakan dalam pengukuran adalah prinsip kuadrat terkecil (*least square*). Penentuan nilai koreksi v sehingga diperoleh nilai estimasi ukuran ℓ

yang memenuhi model matematika dinamakan dengan perataan (*adjustment*).

Pencantuman kata hitung di depan perataan merupakan penekanan bahwa adanya proses untuk mendapatkan nilai koreksi atau dengan kata lain nilai koreksi ditentukan menggunakan suatu metode tertentu. Hitung perataan ini dilakukan untuk menghitung dan mengoreksi hasil pengukuran, serta digunakan untuk memperkecil kesalahan yang terjadi pada pengukuran. Metode yang digunakan untuk menentukan nilai koreksi pada dasarnya terbagi atas dua kelompok yaitu metode pendekatan dan metode kuadrat terkecil.

Metode pendekatan merupakan metode perataan dimana cara pemberian koreksi dilakukan dengan tidak terikat pada prinsip tertentu. Atau dengan kata lain, untuk persoalan yang sama terdapat lebih dari satu cara pemberian koreksi. Pengamatan yang telah diberi koreksi harus memenuhi model matematika (syarat geometrik) tertentu. Kemudian pengamatan tersebut digunakan untuk menentukan nilai parameter. Pengamatan yang telah diberi koreksi selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter. Hubungan umum yang menyatakan keterkaitan antara pengukuran dan parameter yang dicari dinamakan model. Karena hampir semua model dalam pengukuran dalam pengukuran dinyatakan secara matematis berdasarkan kondisi fisik dan geometri, maka model dalam survei pengukuran disebut sebagai model matematika.

Dalam bidang geodesi, nilai parameter yang ditentukan dari pengamatan setelah diberi koreksi harus ditentukan nilai ketelitiannya. Dengan adanya informasi ketelitian akan lebih mudah untuk menentukan untuk keperluan apa saja nilai parameter tersebut dapat digunakan. Seperti diketahui bahwa ketika terdapat ukuran lebih pada pengukuran, perataan diperlukan untuk mendapatkan solusi yang unik dari sebuah model matematika. Meskipun metode pendekatan, baik grafis maupun hitungan mungkin

cukup untuk kasus-kasus tertentu, suatu prosedur yang umum dan sistematis diperlukan untuk diterapkan pada setiap kasus.

Perataan kuadrat terkecil merupakan salah satu prosedur yang digunakan dalam perataan. Dengan menganggap pada satu waktu bahwa seluruh pengamatan tidak berkorelasi dan memiliki bobot yang sama. Terdapat berbagai macam teknik perataan kuadrat terkecil yang akan menghasilkan hasil yang identik apabila digunakan untuk memecahkan persoalan yang sama. Beberapa diantaranya merupakan teknik perataan kuadrat terkecil sederhana yang cocok digunakan dalam bidang survei dan pemetaan. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, berdasarkan teknik pengukurannya, terdapat dua macam perataan dalam bidang survei, yaitu Teknik Perataan Parameter dan Teknik Perataan Parameter Bersyarat.

2.4.1 Hitung Kuadrat Terkecil Metode Parameter

Menurut Wolf (1980) setiap pengukuran pasti akan mengandung kesalahan acak, oleh sebab itu dibutuhkan pengukuran lebih pada setiap pengamatan yang dikerjakan untuk meningkatkan ketelitian pengukuran. Pengukuran lebih akan memberikan efek pada hasil penghitungan, yaitu solusi yang diperoleh dari hasil penghitungan tidak akan unik pada nilai parameter yang akan ditentukan. Untuk mengatasi masalah tersebut digunakan suatu metode untuk menghitung nilai parameter yang akan ditentukan dengan meminimalisasi kesalahan acak. Hitung perataan adalah suatu metode yang digunakan untuk menghitung nilai koreksi yang akan diberikan pada hasil pengukuran, sehingga hasil pengukurannya memenuhi aspek geometriknya (Wolf 1980). Penyelesaian hitung kuadrat yang diinginkan adalah penyelesaian hitung kuadrat terkecil, maksudnya adalah nilai akhir yang dicari harus bersifat unik dan

dengan cara tertentu, solusi yang diperoleh mempunyai jumlah kuadrat residunya (V^TPV) minimum. Nilai parameter yang diperoleh bukan merupakan nilai yang sebenarnya (true value), tetapi hanya nilai estimasinya.

Salah satu metode hitung perataan kuadrat terkecil (*least square adjustment*) adalah metode parameter. Pada metode ini, nilai parameter yang akan dihitung mempunyai hubungan linier dengan besar pengukuran. jika hubungannya non-linier maka harus melalui proses linierisasi. Pembentukan suatu model matematis dibutuhkan untuk menunjukkan hubungan linier antara besaran pengukuran dan parameter yang akan dicari. Setiap pengukuran ditulis dalam suatu model matematis/persamaan matematis. Salah satu ciri khas hitung perataan kuadrat terkecil adalah jumlah pengukuran yang dilakukan harus lebih banyak daripada jumlah parameter yang dicari (Wolf 1980). Ukuran lebih tersebut disebut *degree of freedom* atau derajat kebebasan.

$$r = n - u \tag{2.13}$$

Dimana,
n = jumlah pengukuran,
u = jumlah parameter yang akan dicari.

Menurut Wolf (1980) ukuran didefinisikan sebagai fungsi dari parameter. Oleh karena itu diperoleh suatu bentuk umum model matematisnya seperti persamaan 2.16 dibawah ini.

$$V = AX - F \tag{2.16}$$

Dalam hal ini, elemen matriks untuk tiap-tiap persamaan 2.17 yaitu:
V = Matriks residu (n x 1),
A = Matriks desain (n x u),

X = Matriks parameter (u x 1),
F = Matriks konstanta (n x 1).

Setelah menyusun persamaan seperti pada persamaan 2.16, dilakukan perhitungan nilai parameter setelah perataan menggunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P F \qquad (2.17)$$

Dimana,
P = Matriks bobot (n x n)

Untuk menghitung koreksi pengamatan digunakan persamaan,

$$V = AX - F \qquad (2.18)$$

Untuk menghitung variansi baku setelah pengamatan digunakan persamaan,

$$S_o^2 = \frac{(V^T P V)^{-1}}{n-u}$$

$$S_o = \sqrt{\frac{(V^T P V)^{-1}}{n-u}} \qquad (2.19)$$

2.4.2 Hitung Kuadrat Terkecil Metode Bersyarat

Teknik Perataan Bersyarat merupakan teknik perataan kuadrat terkecil untuk pengamatan. Sesuai dengan namanya, dalam perataan ini tidak ada parameter di dalam persamaan syaratnya. Akibatnya, jumlah persamaan syarat (c) sama dengan jumlah dari ukuran lebih (r). Secara umum, persamaan untuk perataan bersyarat adalah,

$$A V = f \qquad (2.21)$$

Karena terdapat sejumlah r persamaan syarat dan n pengamatan, maka dimensi dari matrik A adalah r ×

n, dimensi matrik v adalah n × 1 dan matrik f adalah r × 1.

Didalam sebuah perataan juga terdapat istilah Berat Pengamatan. Pengukuran dengan presis tinggi akan memiliki nilai variansi yang kecil dan sebaliknya, pengkuran dengan presisi rendah akan memiliki nilai variansi yang besar. Karena nilai variansi berbanding terbalik dengan nilai presisi, digunakan sebuah nilai ukuran lain yang menyatakan ukuran presisi secara langsung. Nilai ukuran tersebut disebut sebagai berat (*weight*) pengamatan. Semakin tinggi nilai berat suatu pengamatan, maka semakin tinggi presisinya dan sebaliknya.

Berat dari sebuah pengamatan didefinisikan sebagai sebuah nilai yang berbanding terbalik dengan variansi dari pengamatan tersebut. Pada saat dua atau lebih pengamatan saling berhubungan, selain terdapat nilai variansi juga terdapat nilai kovariansi yang menggambarkan keterkaitan antar pengamatan tersebut. Hubungan tersebut disebut sebagai korelasi. Dalam penjelasan tentang konsep berat pengamatan ini, diasumsikan semua pengamatan tidak berkorelasi, sehingga nilai kovariansinya nol.

2.5 Penelitian Terdahulu

Pemerintah Australia Barat bagian Survei dan Pemetaan Informasi Geografis dan Geospasial (2017) melakukan pengamatan deformasi pada jalan dan struktur (jembatan, gorong-gorong) di Australia Barat menggunakan *waterpass*, *total station*, dan pengamatan GNSS. Data yang dihasilkan pada pengamatan ini berupa identifikasi titik, *easting*, *northing*, elevasi, dan dekripsi titik. Apabila perubahan mencapai 4 mm dalam posisi vertikal dan posisi horizontal, perlu dilakukan pengawasan lebih lanjut. Penelitian ini dilakukan sebagai referensi awal

dalam pengamatan *settlements* deformasi di Australia Barat.

Fei Dai dan Ming Lu (2010) mengamati perubahan vertikal sebuah gedung menggunakan metode fotogrametri. Metode ini dilakukan dengan membuat 4 titik kontrol yang diletakkan pada sisi Gedung yang memungkinkan akan mengalami pengaruh terbesar apabila terjadi pergeseran pondasi. Pengamatan menggunakan metode fotogrametri ini dinilai cukup efektif dan mudah, karena perbedaan nilai Z yang dihasilkan antara metode terestris dan fotogrametri hanya 10 mm.

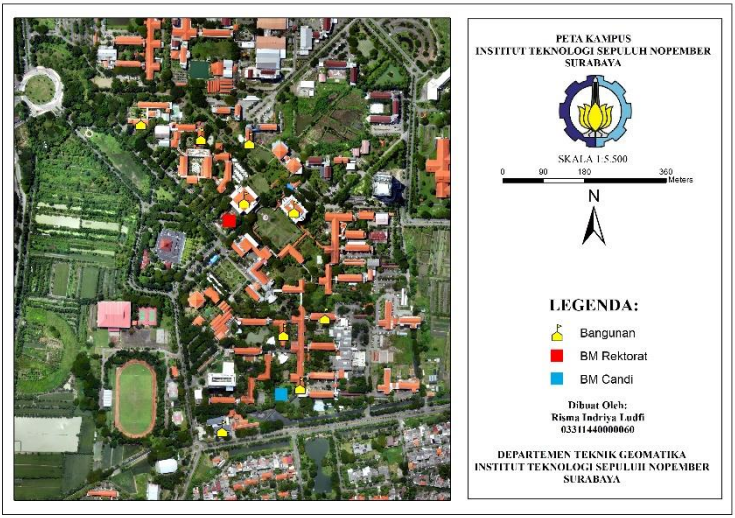
"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Sukolilo Surabaya meliputi bangunan bangunan bertingkat yang dipilih berdasarkan ketersediaan data yang ada, yaitu:

1. Departemen Biologi ITS
2. Departemen Kimia ITS Gedung J
3. Departemen Teknik Elektro ITS Gedung C
4. Departemen Teknik Fisika Gedung E
5. Departemen Teknik Geomatika ITS Gedung Lama
6. Departemen Teknik Lingkungan ITS
7. Departemen Teknik Sipil ITS Gedung J
8. Gedung Rektorat ITS
9. Perpustakaan ITS



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Elevasi bangunan Kampus ITS Sukolilo pertama kali dibangun.
2. Hasil pengukuran elevasi bangunan Kampus ITS Sukolilo tahun 2018.
3. Elevasi BM Candi.
4. Peta Kampus ITS Sukolilo Surabaya.

3.2.2 Peralatan

3.2.2.1 Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat lunak pengolah angka meliputi perhitungan data dan pembuatan grafik.
2. Perangkat lunak pengolah kata.
3. Perangkat lunak pemrosesan grafis berupa Sistem Informasi Geografis (SIG).

3.2.2.2 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. *Waterpass* Nikon AE-7C

Tabel 3. 1 Spesifikasi Waterpass Nikon AE-7C (Nikon, 2014)

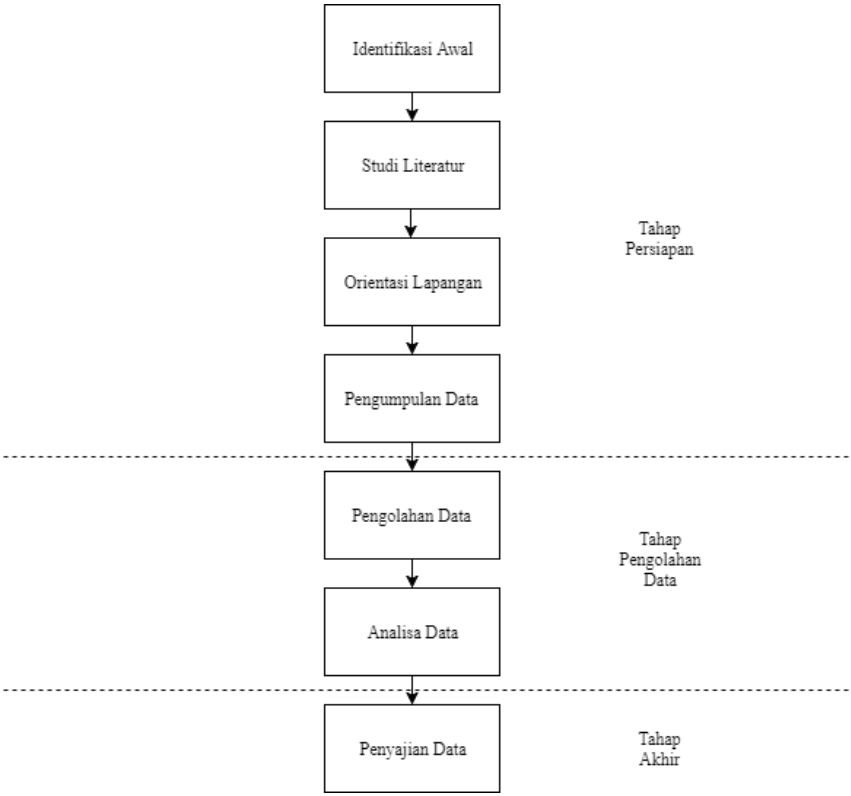
Field of View	1˚ 30’
Perbesaran	30x
Gambar	Tegak
Jarak Fokus Minimum	0,3 m
Range	± 16’
Standar deviasi	± 0,45 mm

2. Statif
3. Rambu ukur
4. Payung
5. Rol meter
6. Kalkulator

3.3 Metodologi Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahap Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian pada Gambar 3.2:

1. Tahap Persiapan

   Pada tahap ini kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah:

   a. Identifikasi Awal

      Kegiatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi penelitian yang akan dilakukan. Identifikasi tersebut berupa pembuatan latar belakang penelitian, perumusan masalah dan batasan masalah pada penelitian, tujuan adanya penelitian dan manfaat dari penelitian ini.

   b. Studi Literatur

      Studi literatur merupakan tahap untuk mempelajari literatur yang mendukung pelaksanaan pekerjaan pengukuran. Literatur yang perlu dipelajari sebelum pelaksanaan survei berupa metode pengukuran beda tinggi, perataan pengukuran, dan informasi bangunan bertingkat Kampus ITS Sukolilo.

   c. Orientasi Lapangan

      Orientasi lapangan bertujuan untuk melihat kondisi lapangan, menentukan titik-titik *benchmark*, dan pengecekan alat yang digunakan untuk penelitian. Setelah orientasi lapangan dilakukan, survei siap dilaksanakan.

   d. Pengumpulan Data

      Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan pengukuran beda tinggi untuk mengetahui elevasi

bangunan. Pengukuran ini menggunakan alat *Waterpass*.

2. Tahap Pengolahan Data
    a. Pengolahan Data

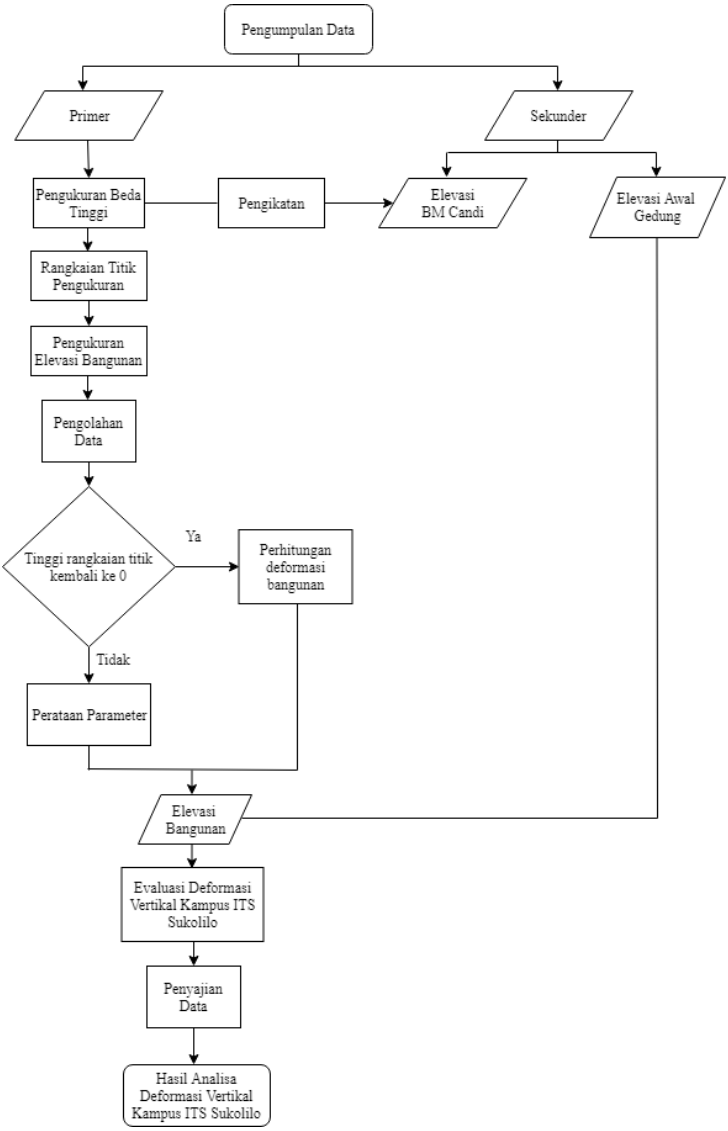
        Pengolahan Data yang dilakukan adalah pengolahan data beda tinggi untuk mencari elevasi bangunan dan dilakukan perataan pengukuran bangunan bertingkat Kampus ITS Sukolilo.

    b. Analisis Data

        Data yang telah diolah kemudian dianalisis sedemikiran rupa sehingga diperoleh suatu hasil berupa evaluasi deformasi vertikal bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo.
3. Penyajian Data

    Penyajian data penelitian tugas akhir ini berupa penyusunan Laporan Tugas Akhir, dimana laporan ini mencakup seluruh kegiatan dari proses hingga hasil akhir dari penelitian.

3.3.2 Diagram Alir Pengolahan Data



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data

Adapun penjelasan dari diagram alir pengolahan data pada Gambar 3.3 adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data didapatkan melalui data primer (pengukuran langsung) dan data sekunder (data arsip ITS).
2. Pengumpulan data primer berupa pengukuran beda tinggi untuk memperoleh elevasi bangunan.
3. Pengumpulan data sekunder berupa elevasi BM Candi dan elevasi awal bangunan.
4. Pengukuran beda tinggi menggunakan *waterpass* dimulai dengan pengukuran rangkaian titik yang digunakan untuk acuan pengukuran elevasi bangunan. Pengukuran elevasi bangunan menggunakan pengukuran relatif sebagai acuan pengukurannya, dan titik ikat pengukuran terletak di BM Candi. Rangkaian titik pengukuran melintasi bangunan-bangunan yang akan diteliti. Pengukuran dilakukan menggunakan metode *double stand* untuk pengecekan bacaan, dan metode pulang pergi untuk koreksi data pada pagi dan sore hari. Setelah pengukuran poligon selesai, dilakukan pengukuran elevasi bangunan.
5. Pengukuran rangkaian titik dilakukan mulai dari titik 0 BM Candi sampai titik paling akhir di Teknik Lingkungan, setelah itu kembali lagi ke BM Candi untuk satu kali pengukuran. Pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan tujuan koreksi data, apakah elevasi rangkaian titik akan kembali 0 sesuai elevasi awal BM Candi.
6. Data pulang dan pergi yang sudah masuk ke dalam toleransi, kemudian dilakukan uji

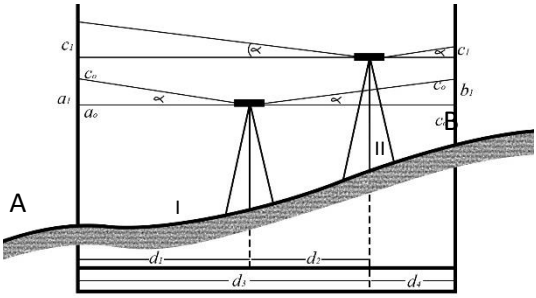
koreksi. Data antara pengukuran pergi dan pulang dibandingkan.

7. Apabila data pengukuran beda tinggi tidak kembali ke elevasi awal titik, dilakukan perataan kuadrat terkecil, yaitu perataan parameter.
8. Melalui perataan parameter ini didapatkan pengukuran yang dianggap benar, kesalahan pengukuran, serta koreksi dari pengukuran.
9. Data yang dihasilkan dari pengolahan data ini adalah elevasi bangunan terhadap BM Candi pada tahun 2018.
10. Apabila data sudah selesai diolah, dilakukan evaluasi deformasi vertikal bangunan bertingkat Kampus ITS Sukolilo sejak awal pembangunan sampai tahun 2018.
11. Penyajian hasil akhir pengolahan data ini berupa hasil analisa deformasi vertikal bangunan Gedung Kampus ITS Sukolilo.

BAB IV
HASIL DAN ANALISA

4.1 Kesalahan Garis Bidik

Dari alat yang digunakan yakni *Waterpass* Nikon AE-7C, berikut adalah hasil pengukuran untuk mengetahui besar kesalahan garis bidik yang dimiliki alat tersebut:



a_1	1,397 m	b_1	0,358 m
c_1	1,390 m	e_1	1,433 m
d_1	13,900 m	d_2	11,900 m
d_3	25,800 m	d_4	2,000 m

Maka,
$a_1 - b_1 = -0{,}039$ m
$c_1 - e_1 = -0{,}043$ m
$d_1 - d_2 = 2$ m
$d_3 - d_4 = 23{,}8$m

Sehingga,

$$\text{tg } \alpha = \frac{(a_1 - b_1)-(c_1 - e_1)}{(d_1 - d_2)-(d_3 - d_4)} = \frac{(-0{,}039)-(-0{,}043)}{(2-23{,}8)} = \frac{+0{,}004}{-21{,}8}$$

$\text{tg } \alpha = -0{,}00018$
(Ini berarti garis bidik ke arah ke bawah.)
Dari pengukuran titik I di dapat:

$t_{ab} = (a_1 - b_1) – tg\ (d_1 – d_2)$
$= -0,039 – \{(-0,00018) \times 2)\}$
$= -0,039 – 0,00036$
$t_{ab} = - 0,03936 \quad \approx \quad t_{ab} = - 0,039$

Dari pengukuran di titik II di dapat:
$t_{ab} = (c_1 - e_1) – tg\ (d_3 – d_4)$
$= -0,043 – \{(-0,00018) \times (23,8)\}$
$= -0,043 + 0,0043$
$t_{ab} = - 0,0387 \quad \approx \quad t_{ab} = - 0,039$

Data hasil pengukuran kesalahan garis bidik diatas telah dilampirkan pada lembar lampiran 2.

4.2 Hasil

4.1.1 Elevasi Bangunan Awal Dibangun

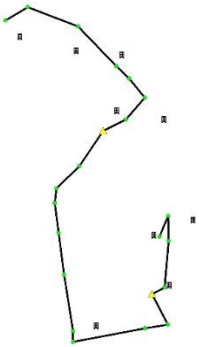
Berdasarkan data yang diberikan oleh Direktorat Sarana dan Prasarana ITS, pembangunan seluruh bangunan di ITS mengacu pada satu titik yaitu BM Candi yang terletak di depan Teknik Elektro. Seluruh bangunan mengacu pada BM Candi yang dianggap memiliki elevasi 0.

Gambar 4. 1 BM Candi

Setiap bangunan di ITS memiliki titik acuan yang dianggap 0 dan digunakan sebagai acuan sebelum dilakukan pembangunan terhadap BM Candi. Titik 0 pada bangunan ITS adalah lantai bangunan, sehingga seluruh lantai bangunan dianggap memiliki elevasi 0 dan digunakan sebagai acuan evaluasi elevasi bangunan pada penelitian ini.

4.1.2 Rangkaian Titik Pengukuran

Rangkaian titik Pengukuran adalah rangkaian titik yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan pengukuran deformasi bangunan. Rangkaian titik ini mengacu pada BM Candi. BM Candi digunakan sebagai acuan pada pembangunan seluruh bangunan di ITS dan dianggap memiliki elevasi 0. Gambar 4.2 menunjukan rangkaian titik pengukuran yang melewati bangunan-bangunan pada penelitian tugas akhir ini.



Gambar 4. 2 Rangkaian Titik Pengukuran

4.1.3 Elevasi Rangkaian Titik Pengukuran

Rangkaian titik pengukuran tersebar di wilayah kampus ITS Sukolilo Surabaya. Jumlah total titik yaitu 21 titik, dimana 1 titik adalah *Benchmark* (BM) atau patok kampus ITS dan 20 lainnya merupakan patok paku. Titik acuan yang digunakan adalah BM Candi yang terletak di depan Departemen Teknik Elektro ITS dengan elevasi dianggap 0 m. Dari hasil pengukuran rangkaian titik didapatkan nilai kesalahan penutup seperti berikut:

a. Kesalahan penutup pengukuran Maret 2018 sebesar 11 mm.
b. Kesalahan penutup pengukuran April 2018 sebesar 4 mm.
c. Kesalahan penutup pengukuran Mei 2018 sebesar 4 mm.

Jarak total pengukuran rangkaian titik ini sepanjang 2,6 km, dengan toleransi pengukuran $8\sqrt{D}$ maka nilai toleransi kesalahan penutup poligon yang didapat dari jarak tersebut sebesar 12 mm. berdasarkan hasil pengukuran, data yang didapatkan

pada pengukuran tiga bulan tersebut masuk toleransi.

Rangkaian titik pengukuran digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai elevasi bangunan. (Hasil perhitungan dan pengukuran rangkaian titik pengukuran terletak pada lampiran). Oleh karena itu terdapat dua rangkaian titik pada pengukuran ini. Rangkaian titik pertama adalah rangkaian titik yang melewati bangunan di sekitar Gedung Rektorat, sedangkan rangkaian titik kedua melewati bangunan di sekitar Departemen Teknik Elektro. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pada Bulan Maret, April, dan Mei 2018. Pengukuran ini dilakukan berkala setiap bulannya, agar nilai elevasinya dapat dibandingkan setiap bulannya. Beberapa tabel dibawah ini menunjukan hasil pengukuran beda tinggi pada rangkaian titik setiap bulannya.

Tabel 4. 1 Elevasi Titik Pengukuran Maret 2018

Titik bidik	Hpergi (m)	Hpulang (m)
10	0	+0,011
9	-0,230	-0,212
8	-0,414	-0,393
7	-0,182	-0,169
6	-0,431	-0,419
5	-0,400	-0,384
4	-0,408	-0,394
3	-0,351	-0,336
2	-0,546	-0,538
1	-0,645	-0,641
A	+0,246	+0,254

B	-0,465	-0,453
C	-0,458	-0,447
D	-0,293	-0,286
E	-0,303	-0,302
F	-0,274	-0,273
G	-0,288	-0,289

Tabel 4. 2 Elevasi Titik Pengukuran April 2018

Titik bidik	Hpergi (m)	Hpulang (m)
10	0	-0,004
9	-0,307	-0,312
8	-0,411	-0,411
7	-0,185	-0,182
6	-0,405	-0,405
5	-0,402	-0,402
4	-0,415	-0,413
3	-0,380	-0,378
2	-0,558	-0,554
1	-0,659	-0,656
A	0,230	0,232
B	-0,475	-0,471
C	-0,472	-0,468
D	-0,313	-0,311
E	-0,325	-0,329
F	-0,295	-0,296
G	-0,316	-0,316

Tabel 4. 3 Elevasi Titik Pengukuran Mei 2018

Titik bidik	Hpergi (m)	Hpulang (m)
10	0	+0,004
9	-0,393	-0,388
8	-0,423	-0,418
7	-0,196	-0,191
6	-0,386	-0,381
5	-0,416	-0,411
4	-0,429	-0,424
3	-0,424	-0,418
2	-0,569	-0,565
1	-0,667	-0,663
A	+0,224	+0,226
B	-0,474	-0,469
C	-0,481	-0,477
D	-0,326	-0,325
E	-0,330	-0,329
F	-0,295	-0,295
G	-0,315	-0,315

Pengukuran rangkaian titik dilakukan mulai dari BM Candi sampai titik paling akhir di Teknik Lingkungan, setelah itu kembali lagi ke BM Candi untuk satu kali pengukuran. Pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan tujuan koreksi data, apakah elevasi rangkaian titik akan kembali 0 m sesuai elevasi awal BM Candi.

Pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 dapat dilihat pengukuran rangkaian titik 1 yang seharusnya kembali ke 0 m, memiliki elevasi +0,011 m pada Bulan Maret 2018, -0,004 m pada Bulan

April 2018, dan +0,004 m pada Bulan Mei 2018. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada pengukuran beda tinggi ketiga bulan tersebut, telah terjadi kesalahan pengukuran sebesar +0,011 m pada Bulan Maret 2018, -0,004 m pada Bulan April 2018, dan +0,004 m pada Bulan Mei 2018.

Dari pengolahan data diatas dilakukan hitung perataan agar dapat dihasilkan elevasi titik yang dianggap benar menggunakan metode parameter (lembar perhitungan perataan metode parameter terlampir pada lampiran). Tabel 4.5 dibawah ini menunjukan hasil elevasi rangkaian titik yang sudah dikoreksi menggunakan perataan parameter.

Tabel 4. 4 Elevasi Titik Pengukuran Setelah Perataan 2018

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
9	-0,226	-0,307	-0,393
8	-0,409	-0,409	-0,423
7	-0,181	-0,182	-0,195
6	-0,430	-0,403	-0,385
5	-0,397	-0,400	-0,415
4	-0,406	-0,412	-0,428
3	-0,349	-0,377	-0,423
2	-0,547	-0,555	-0,569
1	-0,649	-0,656	-0,667
A	+0,245	+0,233	+0,223
B	-0,464	-0,471	-0,474
C	-0,458	-0,468	-0,481
D	-0,295	-0,310	-0,328
E	-0,308	-0,325	-0,332
F	-0,279	-0,294	-0,297

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
G	-0,294	-0,314	-0,317
BM6	-0,615	-0,626	-0,627
BM7	-0,590	-0,628	-0,655
BM9	-0,621	-0,660	-0,688
BM10	-0,616	-0,653	-0,677

Tabel 4.4 menunjukan elevasi rangkaian titik pengukuran pada Bulan Maret, April, dan Mei 2018 secara berturut-turut setelah dilakukan perataan parameter.

4.1.4 Elevasi Bangunan

Pengukuran elevasi bangunan dilakukan dengan acuan rangkaian titik yang sudah dibahas pada sub-bab selanjutnya. Pengukuran ini dilakukan dengan meletakkan rambu ukur pada lantai bangunan karena lantai bangunan dianggap memiliki elevasi 0 m terhadap BM Candi. Selain itu alasan pengukuran ini menggunakan acuan lantai bangunan adalah karena tanah atau paving disekitar bangunan dapat mengalami kenaikan jalan untuk menghindari banjir, oleh karena itu pengukuran ini menggunakan lantai bangunan yang masih dianggap stabil dan belum mengalami perubahan yang besar. Tabel 4.5 akan menunjukan nilai elevasi bangunan pada tiga bulan pengukuran.

Tabel 4. 5 Elevasi Bangunan

Bangunan	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
Perpustakaan	-0,555	-0,565	-0,578
Gedung Rektorat	-0,664	-0,676	-0,692
Teknik Geomatika	-0,406	-0,421	-0,415

Bangunan	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
Teknik Fisika	-0,614	-0,653	-0,698
Biologi	-0,308	-0,309	-0,322
Teknik Lingkungan	0,030	0,010	0,028
Teknik Elektro	-0,552	-0,563	-0,565
Teknik Sipil	-0,230	-0,245	-0,210
Kimia	-0,351	-0,388	-0,385

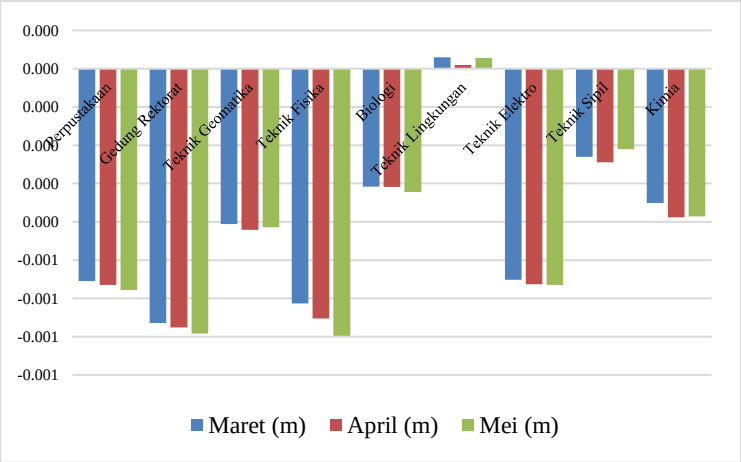
Pada Tabel 4.5 dapat dilihat perbandingan elevasi bangunan setiap bulannya. Apabila diamati, mayoritas bangunan di Kampus ITS Sukolilo mengalami penurunan setiap bulan.

Tabel 4. 6 Besar Penurunan Setiap Bulan

Bangunan	Δh_1 (m)	Δh_2 (m)
Perpustakaan	-0,010	-0,013
Gedung Rektorat	-0,012	-0,016
Teknik Geomatika	-0,015	+0,007
Teknik Fisika	-0,039	-0,045
Biologi	-0,001	-0,013
Teknik Lingkungan	-0,020	+0,018
Teknik Elektro	-0,011	-0,002
Teknik Sipil	-0,015	+0,035
Kimia	-0,037	+0,003

Tabel 4.6 menampilkan besar penurunan bangunan setiap bulan. Δh_1 adalah selisih elevasi pada bulan Maret dengan bulan April 2018, dan Δh_2 adalah selisih elevasi pada bulan April dengan bulan Mei 2018. Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bangunan yang mengalami penurunan terbesar adalah Teknik Fisika dengan besar nilai -0,045 m,

sedangkan bangunan yang mengalami nilai penurunan terkecil adalah Teknik Elektro dengan nilai -0,002 m. Selain itu, terdapat beberapa bangunan yang juga mengalami kenaikan seperti Teknik Geomatika, Teknik Lingkungan, Teknik Sipil, dan Kimia.



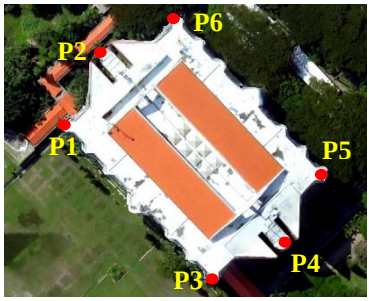
Gambar 4. 3 Perbandingan Elevasi Setiap Bulan

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat mayoritas bangunan di Kampus ITS Sukolilo mengalami penurunan setiap bulannya. Besar nilai penurunan yang terjadi relatif sama setiap bulan. Apabila dilihat dari gambar diatas, dapat disimpulkan bahwa bangunan di ITS rata-rata mengalami penurunan setiap bulan, tetapi juga terdapat beberapa bangunan yang mengalami penurunan kemudian mengalami kenaikan.

4.1.5 Evaluasi Penurunan Masing-Masing Bangunan

Pengukuran deformasi vertikal bangunan dilakukan dengan mengamati besar nilai penurunan dari empat sisi bangunan setiap bulannya. Pengukuran dari empat sisi bangunan ditujukan agar peneliti dapat mengamati besar penurunan yang terjadi pada bangunan di setiap sisinya, untuk mencegah terjadinya patah pada bangunan. Dibawah ini adalah hasil evaluasi penurunan bangunan dilihat dari empat sisi bangunan.

1. Perpustakaan



Gambar 4. 4 Perpustakaan (Al Ayyubi, 2017)

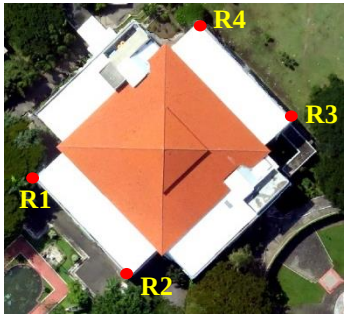
Tabel 4. 7 Besar Penurunan Perpustakaan

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
P1	-0,555	-0,565	-0,578
P2	-0,526	-0,534	-0,549
P3	-0,547	-0,562	-0,575
P4	-0,507	-0,517	-0,530
P5	-0,644	-0,654	-0,667
P6	-0,583	-0,593	-0,606

Berdasarkan Tabel 4.7, Perpustakaan mengalami penurunan yang relative sama setiap bulannya. Sisi bangunan yang

mengalami penurunan paling besar adalah P2 sebesar -0,015 m. Letak sisi P5 dapat dilihat melalui Gambar 4.4. Sedangkan sisi lainnya mengalami penurunan sebesar -0,013 m. Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa bangunan Perpustakaan mengalami penurunan setiap bulannya.

2. Gedung Rektorat



Gambar 4. 5 Gedung Rektorat (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 8 Besar Penurunan Gedung Rektorat

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
R1	-0,664	-0,676	-0,692
R2	-0,672	-0,679	-0,682
R3	-0,720	-0,735	-0,742
R4	-0,720	-0,735	-0,765

Tabel 4.8 menunjukan besar penurunan Gedung Rektorat setiap bulan. Gedung Rektorat mengalami penurunan pada sisi-sisinya setiap bulannya. R4 adalah sisi pada Gedung Rektorat yang mengalami penurunan paling besar dibandingkan sisi lainnya yaitu sebesar -0,030 m. sedangkan R2 adalah sisi yang

mengalami penurunan terkecil yaitu sebesar -0,003 m. Berdasarkan Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa Gedung Rektorat mengalami penurunan setiap bulan.

3. Teknik Geomatika

Gambar 4. 6 Teknik Geomatika (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 9 Besar Penurunan Teknik Geomatika

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
G1	-0,406	-0,421	-0,415
G2	-0,471	-0,488	-0,404
G3	-0,315	-0,332	-0,240
G4	-0,343	-0,361	-0,238

Tabel 4.9 menunjukan besar penurunan yang terjadi pada Teknik Geomatika setiap bulan. Apabila dilihat pada tabel, dapat disimpulkan bahwa Teknik Geomatika mengalami penurunan dari pengukuran bulan Maret ke bulan April 2018, lalu mengalami kenaikan pada pengukuran bulan April menuju Mei 2018. G4 adalah sisi bangunan Teknik Geomatika yang mengalami kenaikan terbesar yaitu sebesar +0,124 m, sedangkan G1 adalah

sisi yang mengalami kenaikan terkecil yaitu sebesar +0,007 m.

4. Teknik Sipil

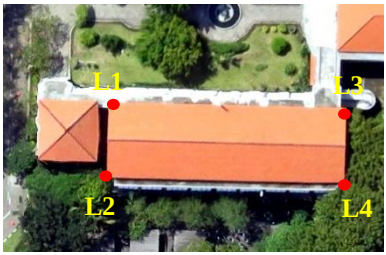
Gambar 4. 7 Teknik Sipil (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 10 Besar Penurunan Teknik Sipil

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
S1	-0,325	-0,342	-0,239
S2	-0,308	-0,325	-0,244
S3	-0,486	-0,501	-0,466
S4	-0,230	-0,245	-0,210

Tabel 4.10 menunjukan besar nilai penurunan yang terjadi pada Teknik Sipil. Apabila diamati, dapat disimpulkan bahwa Teknik Sipil mengalami penurunan pada pengukuran bulan Maret dan April, lalu mengalami kenaikan pada pengukuran bulan April dan Mei 2018. S1 adalah sisi yang mengalami kenaikan terbesar dengan nilai +0,103 m, sedangkan S3 dan S4 adalah sisi yang mengalami kenaikan terkecil dengan nilai +0,035 m.

5. Teknik Lingkungan



Gambar 4. 8 Teknik Lingkungan (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 11 Besar Penurunan Teknik Lingkungan

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
L1	0,021	0,001	0,007
L2	0,030	0,010	0,028
L3	0,033	0,013	0,020
L4	0,049	0,031	0,033

Tabel 4.11 menunjukan besar penurunan yang terjadi pada Teknik Lingkungan. Teknik Lingkungan mengalami penurunan pada hasil pengukuran bulan Maret dan April, dan mengalami kenaikan pada pengukuran bulan April menuju Mei 2018. L2 adalah sisi yang mengalami kenaikan terbesar yaitu sebesar +0,018 m, dan L4 adalah sisi yang mengalami kenaikan terkecil sebesar +0,002 m.

6. Biologi

Gambar 4. 9 Biologi (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 12 Besar Penurunan Biologi

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
B1	-0,308	-0,309	-0,322
B2	-0,523	-0,524	-0,537
B3	-0,410	-0,410	-0,424
B4	-0,534	-0,534	-0,548

Tabel 4.12 menunjukan besar nilai penurunan pada Departemen Biologi ITS. Pada Biologi, sisi B1 dan B2 mengalami penurunan pada pengukuran bulan Maret menuju bulan April, dan mengalami kenaikan pada bulan April menuju bulan Mei. Sisi B3 dan B4 tidak mengalami penurunan atau kenaikan pada pengukuran bulan Maret menuju bulan April, dan mengalami penurunan pada pengukuran bulan April menuju bulan Mei. Setiap sisi bangunan Biologi mengalami penurunan yang relatif sama yaitu sebesar -0,013 m.

7. Teknik Elektro

Gambar 4. 10 Teknik Elektro (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 13 Besar Penurunan Teknik Elektro

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
E9	-0,551	-0,563	-0,564
E8	-0,285	-0,275	-0,219
E7	-1,138	-1,128	-1,089
E10	-0,552	-0,563	-0,565

Tabel 4.13 menunjukan besar penurunan yang terjadi pada Teknik Elektro. Sisi E7 dan E8 mengalami kenaikan setiap bulannya. Sedangkan sisi E9 dan E10 mengalami penurunan setiap bulannya. E8 adalah sisi yang mengalami kenaikan terbesar yaitu sebesar +0,056 m, sedangkan E9 adalah sisi yang mengalami penurunan terkecil yaitu sebesar -0,001 m.

8. Teknik Fisika

Gambar 4. 11 Teknik Fisika (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 14 Besar Penurunan Teknik Fisika

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
F15	-0,754	-0,792	-0,779
F16	-0,757	-0,795	-0,759
F17	-0,685	-0,667	-0,697
F18	-0,614	-0,653	-0,698

Tabel 4.14 menunjukan besar penurunan yang terjadi pada Teknik Fisika. Sisi F15 dan F16 pada Teknik Fisika mengalami penurunan pada pengukuran bulan Maret dengan bulan April, dan mengalami kenaikan pada pengukuran bulan April dengan bulan Mei 2018. F17 mengalami kenaikan setiap bulannya, dan F18 mengalami penurunan setiap bulannya. F16 adalah sisi yang mengalami kenaikan terbesar yaitu sebesar +0,056 m, dan F17 adalah sisi yang mengalami penurunan terkecil yaitu sebesar -0,030 m.

9. Kimia

Gambar 4. 12 Kimia (Al Ayyubi, 2017)

Tabel 4. 15 Besar Penurunan Kimia

Titik	Maret (m)	April (m)	Mei (m)
K19	-0,613	-0,652	-0,680
K20	-0,600	-0,639	-0,667
K21	-0,461	-0,492	-0,412
K22	-0,351	-0,388	-0,385

Tabel 4.15 menunjukan besar penurunan yang terjadi pada Departemen Kimia ITS. Mayoritas sisi pada bangunan Kimia mengalami penurunan pada hasil pengukuran bulan Maret menuju April, dan mengalami kenaikan pada pengukuran bulan April dan Mei. K19 dan K20 adalah sisi yang mengalami penurunan terbesar yaitu -0,028 m, dan K21 adalah sisi yang mengalami kenaikan terbesar yaitu sebesar +0,080 m.

4.2 Analisa

Pengukuran beda tinggi menggunakan *waterpass* untuk mengetahui besar deformasi vertikal yang terjadi pada bangunan bertingkat Kampus ITS Sukolilo menghasilkan

beberapa bangunan yang mengalami penurunan. Berdasarkan hasil yang sudah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya dapat dilakukan analisa bahwa mayoritas bangunan di Kampus ITS Sukolilo mengalami penurunan setiap bulannya. Besar nilai penurunan yang terjadi relatif sama setiap bulannya. Bangunan yang mengalami penurunan terbesar adalah Teknik Fisika dengan besar nilai -0,045 m, sedangkan bangunan yang mengalami nilai penurunan terkecil adalah Teknik Elektro dengan nilai -0,002 m. Selain itu, terdapat beberapa bangunan yang juga mengalami kenaikan seperti Teknik Geomatika, Teknik Lingkungan, Teknik Sipil, dan Kimia.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa pada bab sebelumnya, makan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai deformasi vertikal yang terjadi pada bangunan di Kampus ITS Sukolilo sejak awal dibangun sampai Bulan Mei 2018 adalah Perpustakaan sebesar -0,013 m, Gedung Rektorat sebesar -0,016 m, Teknik Geomatika sebesar +0,007 m, Teknik Fisika sebesar -0,045 m, Biologi sebesar -0,013 m, Teknik Lingkungan sebesar +0,018 m, Teknik Elektro sebesar -0,002 m, Teknik Sipil sebesar +0,035 m, dan Kimia sebesar +0,003 m.
2. Bangunan yang mengalami deformasi vertikal berupa penurunan terbesar adalah Teknik Fisika sebesar -0,045 m, dan deformasi berupa kenaikan terbesar adalah Teknik Sipil sebesar +0,035 m.
3. Bangunan bertingkat di Kampus ITS Sukolilo mayoritas mengalami penurunan elevasi sejak awal pembangunan. Bangunan yang mengalami penurunan elevasi setiap bulan adalah Perpustakaan, Gedung Rektorat, Teknik Fisika, Biologi, dan Teknik Elektro. Sedangkan Teknik Geomatika, Teknik Lingkungan, Teknik Sipil, dan Kimia mengalami penurunan dan mengalami kenaikan pada bulan selanjutnya.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran terhadap penelitian ini adalah:

1. Ditetapkannya Standar Nasional dalam pengukuran deformasi vertikal atau *settlement* pada bangunan.
2. Sebaiknya untuk peneliti selanjutnya melakukan pengukuran dengan jangka waktu lebih lama dan dilakukan dengan kala yang lebih banyak agar dapat dibandingkan evaluasi nilai dan dapat diidentifikasi apabila terjadi kesalahan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

Ardiansyah, F. 2012. Analisis Akurasi Hasil Pengolahan Baseline GPS dengan Perangkat Lunak Komersial untuk Studi *Land Subsidence*. Semarang: Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Al Ayyubi, A. S. 2017. Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana *Fix Wing* UAV (Studi Kasus: Kampus ITS Sukolilo). Surabaya: Teknik Geomatika ITS.

Basuki, S. 2011. Kerangka Kontrol Vertikal. In Ilmu Ukur Tanah (Edisi Revisi) (pp. 133-134). Yogyakarta: Gajah Mada Univerity Press.

Basuki, S. 2011. Pengukuran Sipat Datar Profil. In Ilmu Ukur Tanah (Edisi Revisi) (pp. 159-162). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Dai, F., Lu, Ming. 2010. *Evaluation of Photogrammetry for Monitoring Settlement of Building Adjacent to Foundation Jobsite*. Inggris: Nottingham University Press.

Danny. 2013. Arti Waterpass, <URL: https://www.globalhutama.net/pages/artikel-17/arti-waterpass-44.html>. Dikunjungi pada 29 Januari 2018, jam 17.05.

Das, Braja M. 2002. *Principles of Geotechnical Engineering* – 5th *Edition*. Three Lakes: Cole Publishing.

Gromicko, N., Shepard, K. 2017. *Visual Inspection of Concrete*, <URL:https://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htms>. Dikunjungi pada 29 Januari 2018, jam 09.30.

Haqqi, M. K. F., Yuwono, B.D., Awaluddin, M. 2015. "Survei Pendahuluan Deformasi Muka Tanah dengan

Pengamatan GPS Di Kabupaten Demak (Studi Kasus : Pesisir Pantai Kecamatan Sayung)". Semarang: Jurnal Teknik Geodesi UNDIP.Joetomo. 2013. Konsolidasi, <URL:https://james-oetomo.com/2013/11/10/konsolidasi-overview/>. Dikunjungi pada tanggal 29 Januari 2018, jam 15.59.

Kuang, S. 1996. Geodetic Network Analysis and Optimal Design. Ann Arbor Press. Chelsea: Michigan

Kurniawan, A., Taufik, M., Handoko, E. Y. 2011. Studi Penurunan Tanah Kota Surabaya Menggunakan *Global Positioning System*. Surabaya: Teknik Geomatika ITS.

Kurniawan, A. 2013. Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT 10.04 Kurun Waktu 2008-2013. Semarang: Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

Lando, A. T. 2011. Penentuan Tinggi Titik Dengan Teknik Perataan Parameter Dan Teknik Perataan Bersyarat. Makassar: Teknik Sipil Universitas Hassanudin.

Mikhail, E. M., Gracle, G. 1981. *Analysis dand Adjustment of Survey Measurements*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Nikon. 2014. Nikon AS-2/AE-7 Series Automatic Levels Specifications Sheet.

Pahlevi, A. M. 2008. "Deformasi Vertikal", <URL: http://arisaunapahlevi.blogspot.com/2008/04/deformasi-vertikal.html>. Dikunjungi pada tanggal 5 Juli 2018, jam 15.30.

Pemerintah Australia Barat bagian Survei dan Pemetaan Informasi Geografis dan Geospasial. 2017. *Settlement Monitoring*. Australia: *Asset and*

Geospatial Information; Branch Survey and Mapping Section.

Supadiningsih, C. 2004. Pengukuran Sipat Datar. In Modul Ajar Ilmu Ukur Tanah I (pp. 60-70). Surabaya: Teknik Geodesi

Supriyani, R. O. 2018. Evaluasi Teknis Elevasi Jalan Utama Kampus ITS Sukolilo Surabaya. Surabaya: Teknik Geomatika ITS.

Wongsotjitro, S. 1977. Ilmu Ukur Tanah. Yogyakarta: PENERBIT KANISIUS.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran Elevasi

A. Maret 2018

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	678	571	624	10,7	37,9	-0,23	7,8E-05	0
	9	990	718	854	27,2				-0,2299
2	9	1480	891	1185	58,9	110,7	-0,184	0,00023	-0,2299
	8	1628	1110	1369	51,8				-0,4137
3	8	1591	1129	1360	46,2	117,3	0,231	0,00024	-0,4137
	7	1486	775	1129	71,1				-0,1824
4	7	1460	862	1161	59,8	95,8	-0,249	0,0002	-0,1824
	6	1590	1230	1410	36				-0,4313
5	6	1564	1159	1361	40,5	61,5	0,031	0,00013	-0,4313
	5	1435	1225	1330	21				-0,4001
6	5	1509	1151	1330	35,8	66,4	-0,008	0,00014	-0,4001
	4	1491	1185	1338	30,6				-0,408
7	4	1545	1160	1352	38,5	87,7	0,057	0,00018	-0,408
	3	1541	1049	1295	49,2				-0,3508
8	3	1497	1199	1348	29,8	56	-0,195	0,00012	-0,3508
	2	1674	1412	1543	26,2				-0,5457
9	2	1560	1222	1391	33,8	67,1	-0,1	0,00014	-0,5457
	1	1658	1325	1491	33,3				-0,6456
10	1	1571	1251	1411	32	82,2	0,891	0,00017	-0,6456
	A	771	269	520	50,2				0,24562
11	A	727	443	584,5	28,4	63,4	-0,7105	0,00013	0,24562
	B	1470	1120	1295	35				-0,4647
12	B	1600	1282	1442	31,8	58,4	0,007	0,00012	-0,4647

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	C	1568	1302	1435	26,6				-0,4576
13	C	1520	1140	1330	38	78,8	0,164	0,00016	-0,4576
	D	1370	962	1166	40,8				-0,2935
14	D	1668	1397	1532	27,1	41,3	-0,01	8,5E-05	-0,2935
	E	1613	1471	1542	14,2				-0,3034
15	E	1849	1302	1576	54,7	109,7	0,029	0,00023	-0,3034
	G	1822	1272	1547	55				-0,2742
16	G	1864	1072	1468	79,2	195	-0,015	0,0004	-0,2742
	H	2062	904	1483	115,8				-0,2888
1	H	2062	904	1483	115,8	195	0,015	0,0004	-0,2888
	G	1864	1072	1468	79,2				-0,2733
2	G	1822	1272	1547	55	109,7	-0,029	0,00023	-0,2733
	E	1849	1302	1576	54,7				-0,3021
3	E	1618	1473	1545	14,5	40,4	0,016	8,4E-05	-0,3021
	D	1659	1400	1529	25,9				-0,286
4	D	1320	922	1121	39,8	79	-0,161	0,00016	-0,286
	C	1478	1086	1282	39,2				-0,4469
5	C	1734	1616	1675	11,8	58	-0,006	0,00012	-0,4469
	B	1912	1450	1681	46,2				-0,4528
6	B	1615	1315	1465	30	62	0,707	0,00013	-0,4528
	A	918	598	758	32				0,25438
7	A	860	329	594	53,1	82,1	-0,896	0,00017	0,25438
	1	1635	1345	1490	29				-0,6415
8	1	1685	1395	1540	29	66,2	0,103	0,00014	-0,6415
	2	1623	1251	1437	37,2				-0,5383
9	2	1684	1387	1536	29,7	56,7	0,202	0,00012	-0,5383
	3	1469	1199	1334	27				-0,3362
10	3	1470	1120	1295	35	87,4	-0,058	0,00018	-0,3362

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	4	1615	1091	1353	52,4				-0,394
11	4	1500	1180	1340	32	66,2	0,01	0,00014	-0,394
	5	1501	1159	1330	34,2				-0,3839
12	5	1571	1360	1465	21,1	61,2	-0,035	0,00013	-0,3839
	6	1700	1299	1500	40,1				-0,4188
13	6	1646	1326	1486	32	95	0,25	0,0002	-0,4188
	7	1551	921	1236	63				-0,1686
14	7	1312	702	1007	61	117,5	-0,225	0,00024	-0,1686
	8	1515	950	1232	56,5				-0,3933
15	8	1551	1034	1293	51,7	110,6	0,181	0,00023	-0,3933
	9	1407	818	1112	58,9				-0,2121
16	9	949	691	820	25,8	42,2	0,223	8,7E-05	-0,2121
	10	699	535	597	16,4				0,011
						2658,4	0,0055	0,0055	
						2,6584	13,04368046		

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	1276	1098	1198	17,8	64,7	-0,615	-0,00011	0
	BM6	2048	1579	1813	46,9				-0,61511
2	BM6	1685	1507	1596	17,8	81,4	0,025	-0,00014	-0,61511
	BM7	1889	1253	1571	63,6				-0,59024
3	BM7	1878	1131	1504	74,7	107,7	-0,031	-0,00018	-0,59024
	BM9	1700	1370	1535	33				-0,62143
4	BM9	1659	1338	1499	32,1	46,8	0,005	-7,8E-05	-0,62143
	BM10	1568	1421	1494	14,7				-0,6165
5	BM10	1568	1421	1494	14,7	46,8	-0,005	-7,8E-05	-0,6165
	BM9	1659	1338	1499	32,1				-0,62158

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
6	BM9	1700	1370	1535	33	107,7	0,031	-0,00018	-0,62158
	BM7	1878	1131	1504	74,7				-0,59076
7	BM7	1889	1253	1571	63,6	81,4	-0,025	-0,00014	-0,59076
	BM6	1685	1507	1596	17,8				-0,6159
8	BM6	1987	1559	1773	42,8	60,4	0,614	-0,0001	-0,6159
	10	1247	1071	1159	17,6				-0,002
						596,9	-0,001	-0,001	
						0,5969	6,180744		

B. April 2018

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	699	583	641	11,6	37,7	-0,307	-3E-05	0
	9	1079	818	948	26,1				-0,307
2	9	1506	901	1204	60,5	106,3	-0,104	-8E-05	-0,307
	8	1537	1079	1308	45,8				-0,4111
3	8	1574	932	1253	64,2	117,1	0,226	-9E-05	-0,4111
	7	1291	762	1027	52,9				-0,1852
4	7	1409	971	1190	43,8	80,1	-0,22	-6E-05	-0,1852
	6	1591	1228	1410	36,3				-0,4053
5	6	1620	1150	1385	47	76,9	0,003	-6E-05	-0,4053
	5	1531	1232	1382	29,9				-0,4023
6	5	1580	1195	1387	38,5	66,4	-0,013	-5E-05	-0,4023
	4	1539	1260	1400	27,9				-0,4154
7	4	1593	1143	1368	45	91,4	0,035	-7E-05	-0,4154
	3	1565	1101	1333	46,4				-0,3804
8	3	1508	1210	1359	29,8	53,2	-0,178	-4E-05	-0,3804

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	2	1654	1420	1537	23,4				-0,5585
9	2	1477	1113	1295	36,4	66,8	-0,101	-5E-05	-0,5585
	1	1548	1244	1396	30,4				-0,6595
10	1	1598	1308	1453	29	82,5	0,89	-6E-05	-0,6595
	A	831	296	563	53,5				0,23041
11	A	734	408	571	32,6	63,8	-0,705	-5E-05	0,23041
	B	1432	1120	1276	31,2				-0,4746
12	B	1689	1295	1492	39,4	57,9	0,003	-4E-05	-0,4746
	C	1581	1396	1489	18,5				-0,4717
13	C	1445	1051	1248	39,4	80,4	0,159	-6E-05	-0,4717
	D	1294	884	1089	41				-0,3127
14	D	1567	1424	1496	14,3	33,4	-0,012	-3E-05	-0,3127
	E	1603	1412	1508	19,1				-0,3248
15	E	1850	1301	1576	54,9	109,9	0,03	-8E-05	-0,3248
	G	1821	1271	1546	55				-0,2949
16	G	1790	1004	1397	78,6	192,9	-0,021	-0,0001	-0,2949
	H	1989	846	1418	114,3				-0,316
1	H	2039	896	1467	114,3	192,8	0,02	-0,0001	-0,316
	G	1839	1054	1447	78,5				-0,2961
2	G	1805	1199	1502	60,6	109,9	-0,033	-8E-05	-0,2961
	E	1781	1288	1535	49,3				-0,3292
3	E	1555	1401	1478	15,4	38,9	0,018	-3E-05	-0,3292
	D	1577	1342	1460	23,5				-0,3113
4	D	1332	925	1129	40,7	80,5	-0,157	-6E-05	-0,3113
	C	1485	1087	1286	39,8				-0,4683
5	C	1599	1423	1511	17,6	58,3	-0,003	-4E-05	-0,4683
	B	1718	1311	1514	40,7				-0,4714
6	B	1488	1201	1344	28,7	62,9	0,703	-5E-05	-0,4714

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	A	812	470	641	34,2				0,23159
7	A	858	331	595	52,7	81,7	-0,888	-6E-05	0,23159
	1	1628	1338	1483	29				-0,6565
8	1	1533	1248	1391	28,5	66,9	0,102	-5E-05	-0,6565
	2	1481	1097	1289	38,4				-0,5545
9	2	1680	1428	1554	25,2	53,6	0,177	-4E-05	-0,5545
	3	1519	1235	1377	28,4				-0,3776
10	3	1530	1125	1328	40,5	91,4	-0,035	-7E-05	-0,3776
	4	1618	1109	1363	50,9				-0,4126
11	4	1504	1217	1361	28,7	66,3	0,012	-5E-05	-0,4126
	5	1537	1161	1349	37,6				-0,4007
12	5	1599	1295	1447	30,4	76,8	-0,004	-6E-05	-0,4007
	6	1683	1219	1451	46,4				-0,4047
13	6	1641	1296	1469	34,5	80	0,222	-6E-05	-0,4047
	7	1475	1020	1247	45,5				-0,1828
14	7	1234	756	995	47,8	117,5	-0,228	-9E-05	-0,1828
	8	1571	874	1223	69,7				-0,4109
15	8	1500	1042	1271	45,8	105,7	0,099	-8E-05	-0,4109
	9	1472	873	1172	59,9				-0,312
16	9	1082	830	956	25,2	37,4	0,308	-3E-05	-0,312
	10	709	587	648	12,2				-0,004
						2637,3	-0,002	-0,002	
						2,6373	12,99181281		

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	1275	1099	1187	17,6	64,1	-0,626	0,000215	0
	BM6	2045	1580	1813	46,5				-0,62579

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
2	BM6	1660	1493	1577	16,7	60,9	-0,001	0,000204	-0,62579
	BM7	1799	1357	1578	44,2				-0,62658
3	BM7	1969	1020	1495	94,9	128	-0,032	0,000429	-0,62658
	BM9	1692	1361	1527	33,1				-0,65815
4	BM9	1683	1371	1527	31,2	46,4	0,007	0,000155	-0,65815
	BM10	1596	1444	1520	15,2				-0,651
5	BM10	1609	1461	1535	14,8	45,7	-0,007	0,000153	-0,651
	BM9	1696	1387	1542	30,9				-0,65784
6	BM9	1788	1230	1509	55,8	128,2	0,032	0,000429	-0,65784
	BM7	1839	1115	1477	72,4				-0,62542
7	BM7	1782	1328	1555	45,4	60,9	0,003	0,000204	-0,62542
	BM6	1630	1475	1552	15,5				-0,62221
8	BM6	1973	1527	1750	44,6	63,2	0,626	0,000212	-0,62221
	10	1217	1031	1124	18,6				0,004
						597,4	0,002	0,002	
						0,5974	6,183332		

3. Mei 2018

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	758	628	693	13	37,4	-0,393	2,84E-05	0
	9	1208	964	1086	24,4				-0,39297
2	9	1570	1090	1330	48	101,2	-0,03	7,69E-05	-0,39297
	8	1626	1094	1360	53,2				-0,42289
3	8	1500	1047	1274	45,3	116,8	0,227	8,88E-05	-0,42289
	7	1405	690	1047	71,5				-0,19581
4	7	1376	1106	1242	27	64,5	-0,19	4,9E-05	-0,19581

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	6	1620	1245	1432	37,5				-0,38576
5	6	1552	1284	1417	26,8	92,3	-0,03	7,01E-05	-0,38576
	5	1775	1120	1447	65,5				-0,41569
6	5	1660	1185	1422	47,5	66,7	-0,013	5,07E-05	-0,41569
	4	1531	1339	1435	19,2				-0,42864
7	4	1625	1252	1438	37,3	95,4	0,005	7,25E-05	-0,42864
	3	1723	1142	1433	58,1				-0,42356
8	3	1561	1345	1452	21,6	49,1	-0,146	3,73E-05	-0,42356
	2	1735	1460	1598	27,5				-0,56953
9	2	1685	1230	1457	45,5	71,3	-0,098	5,42E-05	-0,56953
	1	1684	1426	1555	25,8				-0,66747
10	1	1489	1170	1328	31,9	81,5	0,891	6,19E-05	-0,66747
	A	685	189	437	49,6				0,22359
11	A	760	390	575	37	63,4	-0,698	4,82E-05	0,22359
	B	1405	1141	1273	26,4				-0,47436
12	B	1729	1252	1490	47,7	58,1	-0,007	4,42E-05	-0,47436
	C	1549	1445	1497	10,4				-0,48132
13	C	1420	1015	1217	40,5	81,9	0,155	6,22E-05	-0,48132
	D	1269	855	1062	41,4				-0,32626
14	D	1512	1369	1441	14,3	39,3	-0,004	2,99E-05	-0,32626
	E	1570	1320	1445	25				-0,33023
15	E	1850	1300	1575	55	109	0,035	8,28E-05	-0,33023
	G	1810	1270	1540	54				-0,29514
16	G	1760	960	1360	80	194	-0,02	0,000147	-0,29514
	H	1950	810	1380	114				-0,315
1	H	2020	880	1450	114	192	0,02	0,000146	-0,315
	G	1820	1040	1430	78				-0,29485
2	G	1704	1144	1424	56	108	-0,034	8,21E-05	-0,29485

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	E	1718	1198	1458	52				-0,32877
3	E	1539	1374	1456	16,5	41,1	0,004	3,12E-05	-0,32877
	D	1575	1329	1452	24,6				-0,32474
4	D	1652	1464	1558	18,8	80,8	-0,152	6,14E-05	-0,32474
	C	2020	1400	1710	62				-0,47667
5	C	1463	1230	1346	23,3	59,3	0,008	4,51E-05	-0,47667
	B	1518	1158	1338	36				-0,46863
6	B	1317	1081	1199	23,6	60,4	0,695	4,59E-05	-0,46863
	A	688	320	504	36,8				0,226416
7	A	745	249	497	49,6	81,1	-0,89	6,16E-05	0,226416
	1	1545	1230	1387	31,5				-0,66352
8	1	1664	1431	1548	23,3	66,9	0,098	5,08E-05	-0,66352
	2	1668	1232	1450	43,6				-0,56547
9	2	1765	1490	1628	27,5	49,1	0,147	3,73E-05	-0,56547
	3	1588	1372	1481	21,6				-0,41843
10	3	1685	1101	1393	58,4	95,4	-0,006	7,25E-05	-0,41843
	4	1584	1214	1399	37				-0,42436
11	4	1482	1290	1386	19,2	65,6	0,013	4,99E-05	-0,42436
	5	1610	1146	1373	46,4				-0,41131
12	5	1810	1160	1485	65	92	0,03	6,99E-05	-0,41131
	6	1590	1320	1455	27				-0,38124
13	6	1652	1278	1466	37,4	64,6	0,19	4,91E-05	-0,38124
	7	1412	1140	1276	27,2				-0,19119
14	7	1349	629	989	72	115,6	-0,227	8,79E-05	-0,19119
	8	1434	998	1216	43,6				-0,4181
15	8	1645	1115	1380	53	101	0,03	7,68E-05	-0,4181
	9	1590	1110	1350	48				-0,38803
16	9	1204	962	1082	24,2	36,9	0,392	2,8E-05	-0,38803

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
	10	758	631	690	12,7				0,004
						2631,7	0,002	0,002	
						2,6317	12,97801		

SLAG	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Jarak (m)	Jarak total (m)	Beda tinggi (m)	Koreksi (m)	H (m)
1	10	1273	1100	1186	17,3	63,3	-0,626	0,000319	0
	BM6	2042	1582	1812	46				-0,62568
2	BM6	1635	1480	1558	15,5	40,2	-0,028	0,000203	-0,62568
	BM7	1709	1462	1586	24,7				-0,65348
3	BM7	2060	910	1485	115	148,2	-0,033	0,000748	-0,65348
	BM9	1684	1352	1518	33,2				-0,68573
4	BM9	1708	1405	1556	30,3	45,8	0,011	0,000231	-0,68573
	BM10	1623	1468	1545	15,5				-0,6745
5	BM10	1650	1502	1574	14,8	44,4	-0,01	0,000224	-0,6745
	BM9	1732	1436	1584	29,6				-0,68427
6	BM9	1876	1090	1483	78,6	148,6	0,033	0,00075	-0,68427
	BM7	1800	1100	1450	70				-0,65053
7	BM7	1675	1403	1539	27,2	40,5	0,029	0,000204	-0,65053
	BM6	1576	1443	1510	13,3				-0,62132
8	BM6	1960	1496	1728	46,4	63,6	0,627	0,000321	-0,62132
	10	1187	1015	1101	17,2				0,006
						594,6	0,003	0,003	
						0,5946	6,168825		

Lampiran 2. Hasil Pengukuran Bangunan Setiap Bulan

A. Maret 2018

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
1	1	BM10	1741	1435	1588
		B21	1374	1272	1323
		B22	1540	1313	1427
	2	BM10	1684	1380	1532
		B21	1280	1200	1240
		B22	1480	1273	1377
2	1	BM9	1659	1338	1499
		B19	1709	1274	1491
		B20	1514	1443	1478
3	1	BM9	1678	1080	1379
		B17	1482	1291	1386
	2	BM9	1561	991	1276
		B17	1442	1238	1340
		B18	1428	1110	1269
4	1	BM8	1602	1398	1500
		B15	1453	1385	1419
		B16	1663	1181	1422
	2	BM8	1626	1400	1513
		B15	1457	1394	1425
		B16	1660	1160	1410
5	1	BM7	1490	1212	1351
		B13	1378	1246	1312
		B14	1828	1635	1732
	2	BM7	1668	1392	1530
		B13	1555	1425	1490
		B14	2005	1815	1910

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
6	1	BM6	1679	1501	1590
		B9	1575	1477	1526
		B10	1556	1500	1528
		B11	1559	1509	1534
		B12	1600	1434	1517
	2	BM6	1685	1507	1596
		B9	1580	1486	1533
		B10	1560	1506	1533
		B11	1566	1510	1538
		B12	1612	1438	1525
7	1	BM5	1512	1168	1340
		B7	1860	1710	1785
		B8	983	881	932
	2	BM5	1595	1280	1437
		B7	1946	1827	1886
		B8	1074	985	1029
8	1	8	1590	1236	1413
		B3	1510	1318	1414
		B4	1596	1502	1549
	2	8	1718	1372	1545
		B3	1644	1449	1546
		B4	1720	1620	1670
9	1	7	1380	1185	1282
		B1	1538	1289	1413
		B2	1928	1324	1626
		B3	1540	1220	1380
	2	7	1444	1249	1346
		B1	1598	1348	1473
		B2	1990	1386	1688

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		B3	1601	1281	1441
10	1	A	678	394	536
		A	679	395	537
		A	679	394	536
		B	1420	1076	1248
		B	1422	1080	1251
		B	1420	1072	1246
		R1	1830	1060	1445
		R2	1666	1252	1459
		R2	1665	1252	1459
		R2	1666	1252	1459
11	1	C	1480	1094	1287
		D	1338	922	1130
		D	1330	922	1126
		D	1329	927	1128
		D	1329	925	1127
		R3	1810	1294	1552
		R3	1818	1300	1559
		R4	1815	1295	1555
		R4	1800	1380	1590
		R4	1800	1380	1590
		R4	1800	1382	1591
12	1	D	1672	1409	1541
		E	1626	1485	1556
		G1	1776	1528	1652
		G2	1863	1576	1719
		G2	1863	1575	1719
13	1	E	1569	1430	1500
		F	1654	1466	1560

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
	2	E	1575	1438	1507
		F	1660	1474	1567
	3	F	1928	1428	1678
		G3	1677	1564	1620
		G3	1682	1568	1625
		G4	1746	1560	1653
		G4	1747	1560	1654
14	1	E	1849	1302	1576
		G	1822	1272	1547
		S1	2208	1788	1998
		S2	2243	1717	1980
	2	E	2245	1717	1981
		G	1822	1272	1547
		S1	2209	1787	1998
		S2	2245	1717	1981
15	1	G	1921	1483	1702
		S3	2081	1737	1909
		S4	1669	1637	1653
	2	G	1871	1437	1654
		S3	2033	1691	1862
		S4	1622	1588	1605
16	1	H	1350	808	1079
		TL1	746	687	716
		TL3	972	480	726
	2	I	1610	1438	1524
		TL1	848	682	765
		TL3	1000	504	752
	3	H	1360	812	1086
		TL1	854	689	771

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
17	1	I	1898	1642	1770
		TL2	1050	946	998
		TL4	1089	871	980
	2	I	1842	1586	1714
		TL2	997	893	945
		TL4	1036	816	926
18	1	C	1313	881	1097
		C1	1518	854	1186
	2	C	1282	846	1064
		C1	1484	826	1155
19	1	C	1313	881	1097
		C1	1518	854	1186
		P1	1438	1306	1372
		P2	1490	1196	1343
		P3	1617	1121	1369
	2	C	1282	846	1064
		C1	1484	826	1155
		P1	1410	1278	1344
		P2	1459	1161	1310
		P3	1582	1084	1333
20	1	C1	1549	983	1266
		P4	1546	1262	1404
		P5	1641	1441	1541
		P6	1822	1138	1480
	2	C1	1542	974	1258
		P4	1542	1258	1400
		P5	1635	1435	1535
		P6	1820	1140	1480

GEDUNG	SLAG	TITIK BIDIK	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Beda tinggi (m)	H (m)
KIMIA	1	BM9	1659	1338	1499	0,021	-0,62052
		B20	1514	1443	1478		-0,59952
TEKFIS	1	BM9	1561	991	1276	0,007	-0,62052
		B18	1428	1110	1269		-0,61352
ELEKTRO	1	BM6	1679	1501	1590	0,062	-0,61452
		B10	1556	1500	1528		-0,55252
	2	BM6	1685	1507	1596	0,063	-0,61452
		B10	1560	1506	1533		-0,55152
BIOLOGI	1	7	1380	1185	1282	-0,344	-0,18082
	B2	1928	1324	1626		-0,52482	
	2	7	1444	1249	1346	-0,342	-0,18082
		B2	1990	1386	1688		-0,52282
REKTORAT	1	C	1480	1094	1287	-0,265	-0,4576
		R3	1810	1294	1552		-0,7226
	2	C	1480	1094	1287	-0,272	-0,4576
		R3	1818	1300	1559		-0,7296
GEOMAT	1	E	1626	1485	1556	1,037	-0,30807
		G2	663	376	519		0,728933
	2	E	1626	1485	1556	1,037	-0,30807
		G2	663	375	519		0,728933
SIPIL	1	G	1849	1302	1576	-0,404	-0,27907
		S2	2243	1717	1980		-0,68307
	2	G	1822	1272	1547	-0,434	-0,27907
		S2	2245	1717	1981		-0,71307
TL	1	H	1350	808	1079	0,363	-0,29407
		TL1	746	687	716		0,068933
	2	H	1360	812	1086	0,315	-0,29407
		TL1	854	689	771		0,020933
PERPUS	1	C1	1518	854	1186	-0,183	-0,3686

GEDUNG	SLAG	TITIK BIDIK	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Beda tinggi (m)	H (m)
		P3	1617	1121	1369		-0,5516
	2	C1	1484	826	1155	-0,178	-0,3686
		P3	1582	1084	1333		-0,5466

B. April 2018

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
1	1	BM10	1741	1435	1588
		B21	1374	1272	1323
		B22	1540	1313	1427
	2	BM10	1684	1380	1532
		B21	1280	1200	1240
		B22	1480	1273	1377
2	1	BM9	1659	1338	1499
		B19	1709	1274	1491
		B20	1514	1443	1478
3	1	BM9	1678	1080	1379
		B17	1482	1291	1386
	2	BM9	1561	991	1276
		B17	1442	1238	1340
		B18	1428	1110	1269
4	1	BM8	1602	1398	1500
		B15	1453	1385	1419
		B16	1663	1181	1422
	2	BM8	1626	1400	1513
		B15	1457	1394	1425
		B16	1660	1160	1410
5	1	BM7	1490	1212	1351
		B13	1378	1246	1312

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		B14	1828	1635	1732
	2	BM7	1668	1392	1530
		B13	1555	1425	1490
		B14	2005	1815	1910
6	1	BM6	1679	1501	1590
		B9	1575	1477	1526
		B10	1556	1500	1528
		B11	1559	1509	1534
		B12	1600	1434	1517
	2	BM6	1685	1507	1596
		B9	1580	1486	1533
		B10	1560	1506	1533
		B11	1566	1510	1538
		B12	1612	1438	1525
7	1	BM5	1512	1168	1340
		B7	1860	1710	1785
		B8	983	881	932
	2	BM5	1595	1280	1437
		B7	1946	1827	1886
		B8	1074	985	1029
8	1	8	1590	1236	1413
		B3	1510	1318	1414
		B4	1596	1502	1549
	2	8	1718	1372	1545
		B3	1644	1449	1546
		B4	1720	1620	1670
9	1	7	1380	1185	1282
		B1	1538	1289	1413
		B2	1928	1324	1626

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		B3	1540	1220	1380
	2	7	1444	1249	1346
		B1	1598	1348	1473
		B2	1990	1386	1688
		B3	1601	1281	1441
10	1	A	678	394	536
		A	679	395	537
		A	679	394	536
		B	1420	1076	1248
		B	1422	1080	1251
		B	1420	1072	1246
		R1	1830	1060	1445
		R2	1666	1252	1459
		R2	1665	1252	1459
		R2	1666	1252	1459
11	1	C	1480	1094	1287
		D	1338	922	1130
		D	1330	922	1126
		D	1329	927	1128
		D	1329	925	1127
		R3	1810	1294	1552
		R3	1818	1300	1559
		R4	1815	1295	1555
		R4	1800	1380	1590
		R4	1800	1380	1590
		R4	1800	1382	1591
12	1	D	1672	1409	1541
		E	1626	1485	1556
		G1	1776	1528	1652

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		G2	1863	1576	1719
		G2	1863	1575	1719
13	1	E	1569	1430	1500
		F	1654	1466	1560
	2	E	1575	1438	1507
		F	1660	1474	1567
	3	F	1928	1428	1678
		G3	1677	1564	1620
		G3	1682	1568	1625
		G4	1746	1560	1653
		G4	1747	1560	1654
14	1	E	1849	1302	1576
		G	1822	1272	1547
		S1	2208	1788	1998
		S2	2243	1717	1980
	2	E	2245	1717	1981
		G	1822	1272	1547
		S1	2209	1787	1998
		S2	2245	1717	1981
15	1	G	1921	1483	1702
		S3	2081	1737	1909
		S4	1669	1637	1653
	2	G	1871	1437	1654
		S3	2033	1691	1862
		S4	1622	1588	1605
16	1	H	1350	808	1079
		TL1	746	687	716
		TL3	972	480	726
	2	I	1610	1438	1524

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		TL1	848	682	765
		TL3	1000	504	752
	3	H	1360	812	1086
		TL1	854	689	771
17	1	I	1898	1642	1770
		TL2	1050	946	998
		TL4	1089	871	980
	2	I	1842	1586	1714
		TL2	997	893	945
		TL4	1036	816	926
18	1	C	1313	881	1097
		C1	1518	854	1186
	2	C	1282	846	1064
		C1	1484	826	1155
19	1	C	1313	881	1097
		C1	1518	854	1186
		P1	1438	1306	1372
		P2	1490	1196	1343
		P3	1617	1121	1369
	2	C	1282	846	1064
		C1	1484	826	1155
		P1	1410	1278	1344
		P2	1459	1161	1310
		P3	1582	1084	1333
20	1	C1	1549	983	1266
		P4	1546	1262	1404
		P5	1641	1441	1541
		P6	1822	1138	1480
	2	C1	1542	974	1258

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		P4	1542	1258	1400
		P5	1635	1435	1535
		P6	1820	1140	1480

GEDUNG	SLAG	TITIK BIDIK	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Beda tinggi (m)	H (m)
KIMIA	1	BM9	1659	1338	1499	0,021	-0,66
		B20	1514	1443	1478		-0,639
TEKFIS	1	BM9	1561	991	1276	0,007	-0,66
		B18	1428	1110	1269		-0,653
ELEKTRO	1	BM6	1679	1501	1590	0,062	-0,626
		B10	1556	1500	1528		-0,564
	2	BM6	1685	1507	1596	0,063	-0,626
		B10	1560	1506	1533		-0,563
BIOLOGI	1	7	1380	1185	1282	-0,344	-0,182
	B2	1928	1324	1626		-0,526	
	2	7	1444	1249	1346	-0,342	-0,182
		B2	1990	1386	1688		-0,524
REKTORAT	1	C	1480	1094	1287	-0,265	-0,46801
		R3	1810	1294	1552		-0,73301
	2	C	1480	1094	1287	-0,272	-0,46801
		R3	1818	1300	1559		-0,74001
GEOMAT	1	E	1626	1485	1556	1,037	-0,32523
		G2	663	376	519		0,71177
	2	E	1626	1485	1556	1,037	-0,32523
		G2	663	375	519		0,71177
SIPIL	1	G	1849	1302	1576	-0,404	-0,29373
		S2	2243	1717	1980		-0,69773

GEDUNG	SLAG	TITIK BIDIK	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Beda tinggi (m)	H (m)
	2	G	1822	1272	1547	-0,434	-0,29373
		S2	2245	1717	1981		-0,72773
TL	1	H	1350	808	1079	0,363	-0,31423
		TL1	746	687	716		0,04877
	2	H	1360	812	1086	0,315	-0,31423
		TL1	854	689	771		0,00077
PERPUS	1	C1	1518	854	1186	-0,183	-0,37901
		P3	1617	1121	1369		-0,56201
	2	C1	1484	826	1155	-0,178	-0,37901
		P3	1582	1084	1333		-0,55701

C. Mei 2018

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
1	1	BM9	1708	1405	1556
		BM10	1623	1468	1545
		B19	984	834	909
		B20	1050	700	875
	2	BM9	1726	1425	1575
		BM10	1643	1487	1565
		B19	1002	852	927
		B20	1068	718	893
	3	BM10	1514	1443	1478
		B21	990	773	881
		B22	1028	812	920
2	1	BM8	1582	1260	1421
		B15	1562	1280	1421
		B16	1537	1447	1492

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
	2	BM9	1800	1210	1505
		B17	1684	1378	1531
		B18	1601	1429	1515
	3	BM9	1732	1145	1439
		B17	1604	1291	1448
		B18	1541	1371	1456
5	1	BM5	1486	1149	1318
		B7	1711	1565	1638
		B8	618	542	580
	2	BM5	1471	1132	1302
		B7	1700	1557	1629
		B8	606	532	569
	3	BM6	1635	1480	1558
		B9	921	758	839
		B10	840	830	835
	4	BM6	1604	1452	1528
		B9	897	733	814
		B10	810	800	805
6	1	7	1314	1113	1214
		B1	1464	1151	1308
		B2	1459	1218	1338
	2	8	1521	1153	1337
7		B3	1585	1502	1543
		B4	1269	1081	1175
10	1	A	760	390	575
		B	1405	1141	1273
		R1	1660	1331	1495
		R2	1736	1020	1378
	2	A	791	421	606

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
		B	1444	1180	1312
		R1	1690	1370	1530
		R2	1779	1060	1419
11	1	B	1729	1252	1490
		C	1549	1445	1497
		R3	1799	1722	1760
	2	B	1737	1260	1498
		C	1553	1450	1502
		R3	1804	1728	1766
12	1	C	1420	1015	1217
		D	1269	855	1062
		R4	1711	1290	1501
	2	C	1410	1007	1209
		D	1260	845	1052
		R4	1705	1281	1493
13	1	E	1455	1320	1388
		E1	1541	1350	1446
		G1	490	452	471
		G2	535	385	460
	2	E	1455	1320	1387
		E1	1534	1350	1442
		G1	485	448	467
		G2	529	381	455
	3	E1	1820	1320	1570
		G3	1275	1165	1220
		G4	1513	1328	1420
	4	E1	1820	1320	1570
		G3	1271	1162	1216
		G4	1510	1325	1418

SLAG	DS	Titik bidik	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)
14	1	F	1960	1520	1740
		S1	1702	1662	1682
		S2	2120	1775	1948
	2	F	1960	1520	1740
		S1	2119	1774	1947
		S2	1708	1666	1687
15	1	F	1960	1520	1740
		S3	2081	1737	1909
		S4	1669	1637	1653
	2	F	1960	1520	1740
		S3	2033	1691	1862
		S4	1622	1588	1605
16	1	G	1380	840	1110
		G1	1635	1465	1550
		L1	868	700	784
		L2	1008	515	762
	2	G	1420	880	1150
		G1	1679	1509	1594
		L1	911	741	826
		L2	1050	560	805
	3	G1	1725	1490	1608
		L3	874	788	831
		L4	940	695	818
	4	G1	1738	1500	1619
		L3	885	798	841
		L4	950	705	828

GEDUNG	SLAG	TITIK BIDIK	BA (mm)	BB (mm)	BT (mm)	Beda tinggi (m)	Tinggi (m)
KIMIA	1	BM9	1659	1338	1499	0,021	-0,68801
		B20	1514	1443	1478		-0,66701
TEKFIS	1	BM9	1561	991	1276	0,007	-0,68801
		B18	1428	1110	1269		-0,68101
ELEKTRO	1	BM6	1679	1501	1590	0,062	-0,6265
		B10	1556	1500	1528		-0,5645
	2	BM6	1685	1507	1596	0,063	-0,6265
		B10	1560	1506	1533		-0,5635
BIOLOGI	1	7	1380	1185	1282	-0,344	-0,1955
	B2	1928	1324	1626		-0,5395	
	2	7	1444	1249	1346	-0,342	-0,1955
		B2	1990	1386	1688		-0,5375
REKTORAT	1	C	1480	1094	1287	-0,265	-0,48103
		R3	1810	1294	1552		-0,74603
	2	C	1480	1094	1287	-0,272	-0,48103
		R3	1818	1300	1559		-0,75303
GEOMAT	1	E	1626	1485	1556	1,037	-0,33153
		G2	663	376	519		0,705474
	2	E	1626	1485	1556	1,037	-0,33153
		G2	663	375	519		0,705474
SIPIL	1	G	1849	1302	1576	-0,404	-0,29702
		S2	2243	1717	1980		-0,70102
	2	G	1822	1272	1547	-0,434	-0,29702
		S2	2245	1717	1981		-0,73102
TL	1	H	1350	808	1079	0,363	-0,31702
		TL1	746	687	716		0,045979
	2	H	1360	812	1086	0,315	-0,31702
		TL1	854	689	771		-0,00202

PERPUS	1	C1	1518	854	1186	-0,183	-0,48103
		P3	1617	1121	1369		-0,66403
	2	C1	1484	826	1155	-0,178	-0,48103
		P3	1582	1084	1333		-0,65903

Lampiran 3. Perataan Parameter

A. Maret 2018

Matriks A

A	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriks L, didapatkan melalui jumlah beda tinggi dengan koreksi

L	
-0,226399418	0,009682709
-0,179128918	-0,034720729
0,23262543	0,010052311
-0,248069021	-0,170066183
0,033799472	-0,016727312
-0,006335982	0,695650145
0,058982338	-0,905711486
-0,196656708	0,095619971
-0,103283543	0,192971019
0,890045078	-0,070623101
-0,709852732	-0,002303688
0,007028989	-0,048442572
0,162363644	0,238435079
-0,014686893	-0,237265219
0,024086147	0,165494653
-0,020317291	0,208766302

Matriks P, didapatkan melalui jarak total pengukuran

P	
37,9	
110,7	
117,3	
95,8	
61,5	40,4
66,4	79
87,7	58
56	62
67,1	82,1
82,2	66,2
63,4	56,7
58,4	87,4
78,8	66,2
41,3	61,2
109,7	95
195	117,5
195	110,6
109,7	42,2

Matriks Q

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2,920844	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3,094987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2,527704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1,622691	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1,751979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2,313984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1,477573	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1,770449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,168865	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,672823	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,540897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,079156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,08971	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,894459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,145119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,145119	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,894459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,062063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,084433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,530343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,635884	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,166227	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,746702	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,486042	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,306069	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,746702	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,614776	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,506596	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,100264	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,918206	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,113456

$(A^T . Q . A)^{-1}$

0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,4731586	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159	0,473159
0,473159	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,6444193	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419	0,644419
0,473159	0,644419	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,8058333	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833	0,805833
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471	1,0044706	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471	1,004471
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354	1,313354
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176	1,599176
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	1,815624	1,815624	1,8156238	1,815624	1,815624	1,815624	1,815624	1,815624	1,815624
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,151915	2,1519148	2,151915	2,151915	2,151915	2,151915	2,151915	2,151915
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,4362359	2,436236	2,436236	2,436236	2,436236	2,436236	2,436236
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,666912	2,666912	2,666912	2,666912	2,666912	2,666912
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	2,969144	2,969144	2,969144	2,969144	2,969144
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	3,294746	3,294746	3,294746	3,294746	3,294746
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	3,294746	3,534923	3,534923	3,534923	3,534923
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	3,294746	3,534923	3,998815	3,998815	3,998815
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	3,294746	3,534923	3,998815	4,171559	4,171559
0,473159	0,644419	0,805833	1,004471	1,313354	1,599176	1,815624	2,151915	2,436236	2,6669115	2,969144	3,294746	3,534923	3,998815	4,171559	4,268739

$(A^T . Q . L)$

0,547304
-2,46171
2,680263
-1,35778
0,140147
-0,30642
0,878613
-0,22939
-4,24224
6,217826
-2,36189
-0,65564
0,718791
-0,19693
0,324568
-0,15435

$(A^T . Q . A)^{-1}$ x $(A^T . Q . L)$

-0,21711
-0,38942
-0,15448
-0,39775
-0,35665
-0,35867
-0,29388
-0,48868
-0,58816
0,309717
-0,39311
-0,38125
-0,21503
-0,22743
-0,19802
-0,21302

$V = AX - F$

0,000471136	-0,000147433
-7,67565E-05	-0,00058514
-8,79283E-05	-2,98666E-05
-4,90937E-05	-0,001570452
-6,99168E-05	-0,000539043
-5,00826E-05	0,001488167
0,000427947	-0,000563167
-0,000537314	-5,41855E-05
-5,08417E-05	-0,000537314
-0,000560403	0,000427052
0,001417749	-5,04608E-05
-0,000550177	-7,01448E-05
-0,001553194	-4,90177E-05
-3,12346E-05	-8,86876E-05
-0,000579772	-7,69085E-05
-0,000145913	0,000472399

Standard Deviasi (S_x)

0,089072	0,067388
0,076285	0,067388
0,04453	0,044731
0,064005	0,057314
0,078978	0,064464
0,060694	0,07831
0,070443	0,081816
0,039795	0,057398
0,057012	0,039548
0,081766	0,070564
0,07744	0,060785
0,064243	0,079172
0,057387	0,064274
0,044241	0,044492
0,067388	0,07632
0,067388	0,084412

B. April 2018

Matriks A

A	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriks L, didapatkan melalui jumlah beda tinggi dengan koreksi

L	
-0,30702859	0,01985379
-0,104080613	-0,033083343
0,225911197	0,0179705
-0,220060744	-0,157061047
0,002941683	-0,003044212
-0,013050355	0,7029523
0,034930687	-0,888061957
-0,178040344	0,101949266
-0,101050658	0,176959352
0,889937436	-0,035069313
-0,705048383	0,011949721
0,002956091	-0,004058241
0,158939029	0,221939332
-0,012025329	-0,228089106
0,029916657	0,098919842
-0,021146286	0,307971638

Matriks P, didapatkan melalui jarak total pengukuran

P	
37,7	
106,3	
117,1	109,9
80,1	38,9
76,9	80,5
66,4	58,3
91,4	62,9
53,2	81,7
66,8	66,9
82,5	53,6
63,8	91,4
57,9	66,3
80,4	76,8
33,4	80
109,9	117,5
192,9	105,7
192,8	37,4

Matriks Q

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1,128743	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	3,182635	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3,569388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2,398204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	2,302395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1,988024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2,736527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1,592814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,47006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,91018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,733533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,407186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,290419	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,775449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,772455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,290419	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,164671	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,41018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,745509	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,881234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,446108	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,002994	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,60479	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,736527	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,98503	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,359401	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,39521	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,517964	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,164671	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,11976

$(A^T . Q . A)^{-1}$

0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,4447403	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474
0,44474	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,6022875	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288
0,44474	0,602288	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,7446575	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,9532771	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,1705836	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,4222791	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,604992	1,604992	1,6049925	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	1,917727	1,9177265	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,1675396	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	2,922	2,922	2,922	2,922
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,129583	3,129583	3,129583
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,591547	3,591547
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,743503	3,743503
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,743503	3,830099

$(A^T . Q . L)$

-0,04711
-2,23875
2,653793
-1,07545
0,065769
-0,24122
0,759125
-0,16126
-4,7768
7,041086
-2,68103
-0,7507
0,794096
-0,24025
0,444031
-0,23673

$(A^T . Q . A)^{-1} \times (A^T . Q . L)$

-0,3075
-0,40901
-0,182
-0,403
-0,3995
-0,412
-0,377
-0,5545
-0,656
0,233002
-0,47101
-0,46801
-0,31001
-0,32523
-0,29373
-0,31423

$V = AX - F$

-0,00046964	0,000646416
0,002573082	0,001583343
0,001090811	-0,00274646
-0,00093871	-0,00093841
0,000557916	4,39085E-05
0,000549902	0,001055486
6,93133E-05	-0,00094231
0,00054252	-0,00044897
-0,00044964	0,000538472
-0,00093317	6,93133E-05
0,001040597	0,000550731
4,42119E-05	0,000558643
-0,00093957	-0,00093988
-0,00319872	0,001087098
0,001583343	0,002587688
0,000646081	-0,00047341

C. Mei 2018

Matriks A

A	H9	H8	H7	H6	H5	H4	H3	H2	H1	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matriks L, didapatkan melalui jumlah beda tinggi dengan koreksi

L	
-0,392971577	0,020145913
-0,029923092	-0,033917924
0,227088764	0,004031235
-0,189950982	-0,151938595
-0,029929855	0,008045066
-0,01294931	0,695045902
0,005072501	-0,889938367
-0,145962686	0,098050842
-0,097945814	0,147037314
0,891061937	-0,005927499
-0,697951818	0,013049854
-0,006955846	0,030069917
0,155062241	0,190049094
-0,003970133	-0,226912148
0,035082836	0,030076756
-0,019852567	0,392028043

Matriks P, didapatkan melalui jarak total pengukuran

P	
	194
37,4	192
101,2	108
116,8	41,1
64,5	81
92,3	59,3
66,7	60,4
95,4	81,1
49,1	66,9
71,3	49,1
81,5	95,6
63,4	66,2
58,1	92
81,9	64,6
39,3	115,8
109	101
	37,3

Matriks Q

Q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1,128743	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	3,182635	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3,505988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2,398204	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	2,302395	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1,988024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	2,736527	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1,592814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,47006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,91018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,719533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,407186	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,290419	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,775449	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,772455	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,290419	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,164671	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,745509	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,883234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,446108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,002994	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,60479	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,736527	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,98503	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,299401	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,39521	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,517964	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,164671	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,11976	0

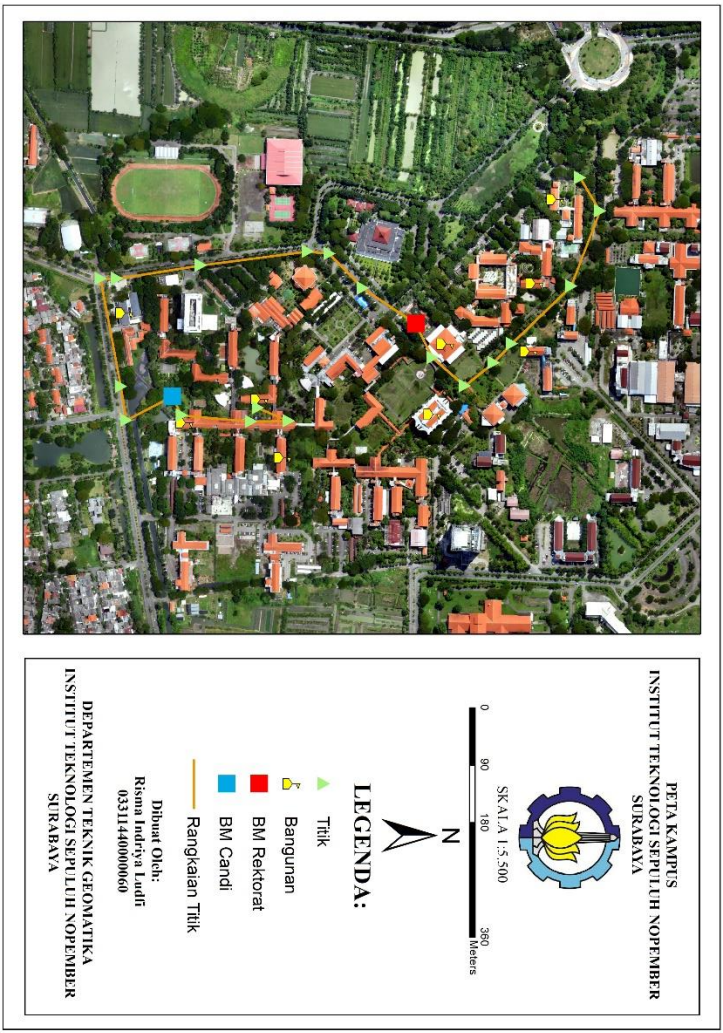
$(A^T . Q . A)^{-1}$

0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,4447403	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	0,44474	
0,44474	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,6022875	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	0,602288	
0,44474	0,602288	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,7446575	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	0,744658	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,9532771	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	0,953277	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,1705836	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	1,170584	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,4222791	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	1,422279	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,604992	1,604992	1,6049925	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992	1,604992	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	1,917727	1,9177265	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727	1,917727	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,1675396	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754	2,16754	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	2,37095	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565	2,634565	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	2,922	2,922	2,922	2,922	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,129583	3,129583	3,129583	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,591547	3,591547	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,743503	3,743503	
0,44474	0,602288	0,744658	0,953277	1,170584	1,422279	1,604992	1,917727	2,16754	2,37095	2,634565	2,922	3,129583	3,591547	3,743503	3,830099	

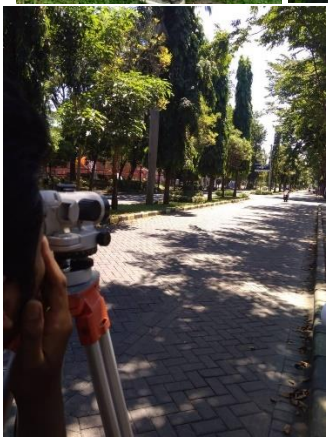
$(A^T . Q . L)$
-0,04711
-2,23875
2,653793
-1,07545
0,065769
-0,24122
0,759125
-0,16126
-4,7768
7,041086
-2,68103
-0,7507
0,794096
-0,24025
0,444031
-0,23673

$(A^T . Q . A)^{-1} \times (A^T . Q . L)$
-0,3075
-0,40901
-0,182
-0,403
-0,3995
-0,412
-0,377
-0,5545
-0,656
0,233002
-0,47101
-0,46801
-0,31001
-0,32523
-0,29373
-0,31423

Lampiran 3. Peta Pengukuran Rangkaian Titik dan Bangunan



Dokumentasi



BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Malang, 31 Agustus 1996, merupakan anak kedua pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Blimbing 3 Malang, SMPN 3 Malang, SMAN 3 Malang. Setelah lulus dari SMA, memilih melanjutkan kuliah S-1 di Teknik Geomatika – FTSLK, ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03311440000060. Di Teknik Geomatika penulis memilih bidang kajian Geodinamika dengan bidang keahlian Terestris. Penulis aktif sebagai anggota HIMAGE-ITS sebagai Bendahara HIMAGE-ITS dan ditunjuk sebagai panitia pada beberapa acara himpunan dan kegiatan seminar baik yang diselenggarakan oleh HIMAGE-ITS maupun yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Geomatika.