

**ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK JARING  
PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN  
METODE *FREE NETWORK ADJUSTMENT*  
(Studi Kasus : Bendungan Manikin, Kabupaten Kupang )**

**SKRIPSI**



**Disusun Oleh:**

**Dave Gundisal Jazzandos Muli Saka**

**NIM 18.25.089**

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEODESI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG  
2023**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK  
JARING PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN METODE FREE  
NETWORK ADJUSTMENT**

**(Studi Kasus : Bendungan Manikin, Kabupaten Kupang)**

Diajukan untuk melengkapi persyaratan dalam mencapai  
Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S1) Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik  
Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang

**Persetujuan ini diberikan kepada :**

**Dave Gundisal Jazzandos Muli Saka**

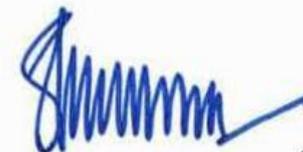
**18.25.089**

**Menyetujui**

**Dosen Pembimbing Utama**

**Dosen Pembimbing Pendamping**

  
**M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., Ph.D.**  
**NIP.Y.1039800320**

  
**Silvester Sari Sai, S.T., M.T.**  
**NIP.P.1030600413**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Geodesi S-1**

  
**Silvester Sari Sai, S.T., M.T.**  
**NIP.P.1030600413**



PT. BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**NAMA : DAVE GUNDISAL JAZZANDOS MULI SAKA**  
**NIM : 1825089**  
**JUDUL : ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK  
JARING PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN METODE  
FREE NETWORK ADJUSTMENT (Studi Kasus : Bendungan  
Manikin, Kabupaten Kupang)**

Telah **Dipertahankan** Di Hadapan Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata 1 (S-1)

Pada hari : Rabu

Tanggal : 6 September 2023

Dengan Nilai : \_\_\_\_ (Angka)

**Panitia Ujian Skripsi  
Ketua**

**Dedy Kurnia Sunarvo, ST., MT.**  
NIP.Y. 1039500280

**Penguji 1**

**y Kurnia Sunarvo, ST., MT.**  
NIP.Y. 1039500280

**Dosen Pendamping**

**M. E. Tjahjadi, S.T., M.GEOM.Sc., Ph.D.**  
NIP.Y. 1039800320

**Penguji 2**

**Fransisca D. Agustina, ST., M.Eng**  
NIP.P. 1012000582

# ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK JARINGAN PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN METODE *FREE NETWORK ADJUSTMENT*

(Studi Kasus : Bendungan Manikin, Kabupaten Kupang)

Dave Gundisal Jazzandos Muli Saka 1825089

Dosen Pembimbing: M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., Ph.D

Dosen Pendamping: Silvester Sari Sai, ST., M.T.

## ABSTRAK

Pembangunan sebuah bendungan tidak terlepas dari banyak pekerjaan yang dilalui, salah satunya yaitu analisis deformasi pada daerah *Capping Beam*. Dimana daerah ini dilalui oleh beberapa pekerjaan seperti galian terowongan melewati bagian struktur *Capping Beam* dan adanya pekerjaan jalan di atas struktur *Capping Beam*. Oleh karena itu, penelitian kali ini memanfaatkan jaring pengukuran non linier untuk proses analisis deformasinya agar mendapatkan pengukuran yang stabil serta menghasilkan data yang akurat.

*Free network adjustment* merupakan suatu teknik perataan jaringan terkendala dalam pembentukan suatu kerangka referensi dengan ciri-ciri matriks persamaan normal tunggal adalah bias atau terkendala. Bentuk minimum dari *Free network adjustment* solusi minimum adalah solusi jarak semu. Dan *minimum constrain* ialah kondisi aljabar yang melibatkan beberapa stasiun dalam jaring yang memiliki tujuan untuk mendefinisikan, komponen fundamental (asal, orientasi, skala) dari sistem koordinat untuk penyesuaian jaringan tanpa mengganggu elemen-elemen yang dapat diestimasi dari pengamatan.

Berdasarkan hasil perhitungan *minimum constrain* dalam *free network adjustment* didapat hasil; perhitungan dari iterasi 1 dan 2 ketidakstabilan dipengaruhi oleh 2 titik yaitu TP 3 dan TP 6 karena mengandung kesalahan yang signifikan dari iterasi 1 kesalahan pada 2 titik terjadi karena gangguan geometri internal yaitu komponen pengantar dan jarak semu yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada kerangka pengukuran dan dapat mengganggu datum pengukuran.

Kata Kunci: GNSS(*Global Navigation Satellite System*), *minimum constrain*, *free network adjustment*

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dave Gundisal Jazzandos Muli Saka  
NIM : 1825089  
Program Studi : Teknik Geodesi S-1  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul :

**“ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK JARING  
PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN METODE *FREE NETWORK  
ADJUSMENT* “**

**(Studi Kasus : Bendungan Manikin, Kabupaten Kupang )**

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan namanya.

Malang, September 2023

Yang membuat pernyataan



Dave Gundisal Jazzandos Muli Saka

Nim. 1825089

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan berkah Tuhan Yang Maha Esa dan Bunda Maria sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian skripsi yang berjudul “ANALISIS KESTABILAN JARINGAN TITIK KONTROL UNTUK JARING PENGUKURAN GNSS MENGGUNAKAN METODE FREE NETWORK ADJUSTMENT ( Studi kasus : Bendungan Manikin, Kabupaten Kupang) “. Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jenjang Srata 1 (S-1) Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya dukungan dari pihak-pihak yang bersangkutan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membimbing dan membantu dalam penyusunan skripsi ini, antara lain:

1. Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan saran baik penulisan maupun teknis pengerjaan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Silvester Sari Sai, ST., M.T, selaku dosen pendamping yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan saran baik penulisan maupun teknis pengerjaan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak dan ibu staf pengajar beserta staf karyawan di Program Studi Teknik Geodesi atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan selama maaa studi.
4. Orang tua dan keluarga yang telah selalu memberikan dorongan moral dan doa agar diberikan kelancaran dalam proses penyusunan skripsi hingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Teman-teman mahasiswa geodesi angkatan 2018 yang selalu saling menyemangati dan saling menolong satu sama lain.

6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan yang telah banyak membantu hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari dalam penulisan ini masih jauh dari kata sempurna, masih banyak kekurangan baik dalam penyusunan tata bahasa ataupun dari segi ilmiah. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat diterima dengan segala kerendahan hati. Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya, serta penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Malang, September 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |            |
|--|------------|
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....  | <b>i</b>   |
| <b>BERITA ACARA</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b> .....   | <b>iii</b> |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....   | <b>iv</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....  | <b>v</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....   | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....  | <b>x</b>   |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....   | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 2          |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....   | 3          |
| 1.4 Batasan Masalah.....   | 3          |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....   | 4          |
| <b>BAB II DASAR TEORI</b> .....  | <b>5</b>   |
| 2.1 GNSS ( <i>Global Navigation Satellite System</i> ).....                                      | 5          |
| 2.1.1 Segmen Sistem GNSS.....  | 7          |
| 2.1.2 Struktur Data GNSS.....  | 8          |
| 2.1.3 Metode Pengukuran GNSS .....   | 11         |
| 2.2 Datum Pada Jaring Geodesi .....  | 13         |
| 2.3 Prosedur Pemantauan GNSS.....  | 14         |
| 2.3.1 Titik-titik Pemantauan yang Terletak di Permukaan Struktur .....                           | 14         |
| 2.3.2 Penetapan Titik Kontrol/Referensi.....   | 14         |
| 2.3.3 Waktu dan Lama Pengamatan GNSS .....   | 14         |
| 2.3.4 Kumpulan Pengamatan Geodesi pada Interval Waktu .....                                      | 15         |
| 2.4 <i>Least Square Adjustment</i> .....   | 16         |
| 2.5 <i>Free network adjustment</i> .....   | 23         |
| 2.6 <i>Minimum Cosntrains</i> .....  | 25         |
| 2.7 <i>Transformasi-S</i> .....  | 25         |
| 2.8 <i>Analisis Gangguan dalam Jaring Minimum Constrains dalam free network adjustment</i> ..... | 31         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b> | <b>34</b> |
| 3.1. Lokasi penelitian .....               | 34        |
| 3.2. Peralatan dan Bahan Penelitian .....  | 34        |
| 3.2.1 Alat Penelitian:.....                | 34        |
| 3.2.2 Bahan Penelitian .....               | 35        |
| 3.3. Diagram alir.....                     | 35        |
| 3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....    | 41        |
| 3.4.1 Pengumpulan Data .....               | 41        |
| 3.4.2 Pengolahan Data.....                 | 43        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>    | <b>60</b> |
| 4.1 Hasil.....                             | 60        |
| 4.2 Pembahasan .....                       | 64        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>                 | <b>66</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                        | 66        |
| 5.2 Saran.....                             | 67        |
| <b>Daftar Pustaka.....</b>                 | <b>68</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1 Sistem Penentuan Posisi Global, GNSS (Abidin, 2007)..... | 6  |
| Gambar 2.2 GPS Geodetic (Surveyindosurta.com) .....                 | 6  |
| Gambar 2.3 Segmen GNSS (Abidin,2007) .....                          | 7  |
| Gambar 2.4 Data Kode GNSS (Dedi, 2006) .....                        | 9  |
| Gambar 2.5 Gelembung Pembawa (Dedi, 2006) .....                     | 10 |
| Gambar 2.6 Lima Subframes (Dedi, 2006).....                         | 10 |
| Gambar 2.7 Differential Positioning (Abidin,2007) .....             | 12 |
| Gambar 2.8 <i>Static Positioning</i> (Abidin, 2007).....            | 13 |
| Gambar 2.9 Prosedur Pengamatan GNSS Geodetic Metode Statik.....     | 15 |
| Gambar 2.10 Pengamatan GNSS Titik Pemantauan Relatif .....          | 16 |
| Gambar 3.1 Area Capping Beam Bendungan Manikin .....                | 34 |
| Gambar 3.2 Titik Pantau BM1 dan BM2 .....                           | 38 |
| Gambar 3.3 Titik Pantau BM3 .....                                   | 39 |
| Gambar 3.4 Titik Pengamatan <i>Capping Beam</i> .....               | 39 |
| Gambar 3.6 Titik Pantau BM .....                                    | 41 |
| Gambar 3.7 Data Hasil Pengamatan BM .....                           | 42 |
| Gambar 3.8 Pengambilan Data Menggunakan GNSS .....                  | 42 |
| Gambar 3.9 Hasil Data Monitoring Capping Beam.....                  | 42 |
| Gambar 3.10 Aplikasi Trimble Bussines Center.....                   | 44 |
| Gambar 3.11 Mengatur system koordinat UTM/ WGS 84 Zona 51s .....    | 44 |
| Gambar 3.12 Tampilan mengimport data rinex .....                    | 44 |
| Gambar 3.13 Tampilan section editor baseline.....                   | 44 |
| Gambar 3.14 Proses baseline .....                                   | 45 |
| Gambar 3.15 Tampilan adjustment network.....                        | 45 |
| Gambar 3.16 Adjustment network .....                                | 45 |
| Gambar 3.17 Ellips error.....                                       | 46 |
| Gambar 3.18 Trimble Bussines Center .....                           | 46 |
| Gambar 3.19 Mengimport data .....                                   | 46 |
| Gambar 3.20 Data rinex .....  | 47 |
| Gambar 3.21 Raw data check.....                                     | 47 |
| Gambar 3.22 Session editor .....                                    | 47 |
| Gambar 3.23 Session Editor.....                                     | 48 |
| Gambar 3.24 Data Baseline.....                                      | 48 |
| Gambar 2.25 Baseline Processing Report.....                         | 48 |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tabel Selang Waktu Pengamatan Baseline GNSS .....  | 14 |
| Tabel 2.2 Selang Waktu Pengamatan Baseline GNSS.....   | 15 |
| Tabel 3.2. Hasil analisis kestabilan jaring.....   | 56 |
| Tabel 3.3. Hasil matriks residu .....  | 56 |
| Tabel 3.4. Hasil perbandingan kestabilan jaring.....   | 57 |
| Tabel 3.5 Hasil analisis kestabilan jaring.....  | 59 |
| Tabel 4.1 $dX$ komponen vektor pengantar dan $d\theta$ komponen vektor perubahan pada iterasi 1 .....    | 60 |
| Tabel 4.2 $dX$ komponen vektor pengantar c dan $d\theta$ komponen vektor perubahan pada Iterasi .....    | 61 |
| Tabel 4.3 $dY$ Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan.....  | 61 |
| Tabel 4.4 Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan dari 3 BM ke 4 titik tp dengan 12 obeservasi ..... | 62 |
| Tabel 4.5 Elemen kesalahan linirisasi .....  | 62 |
| Tabel 4.6 Stabilitas jaringan pada iterasi 1 .....   | 63 |
| Tabel 4.8 Stabilitas jaringan pada iterasi 2 .....   | 63 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bendungan manikin ini terletak di Desa Kuaklalo dan bokong di Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pembangunan bendungan ini dibawah oleh Kementrian PUPR yaitu Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II merupakan wakil pemerintah pusat di daerah untuk melaksanakan pengelolaan SDA antara lain meliputi Konservasi SDA, Pendayagunaan SDA, Pengendalian daya rusak air di wilayah sungai yang menjadi kewenangan pemerintah di provinsi NTT.

Di dalam Proses pembangunan Bendungan manikin ini, memiliki banyak aspek pekerjaan yang dilakukan salah satunya yaitu analisis deformasi *Capping beam* yang dimana pekerjaan ini dilakukan karena adanya galian terowongan yang melewati bagian bawah struktur *Capping beam* dan adanya pekerjaan Jalan dia atas *capping beam* dari dua pekerjaan yang dilakukan disekitar area *capping beam*, maka dilakukan penelitian kali ini dengan memanfaatkan jaring pengukuran non linier yang akan digunakan dalam proses analisis deformasi, memerlukan jaring pengukuran yang stabil demi menghasilkan data yang teliti dan akurat.

Menurut Abidin (2000) Sistem referensi adalah sistem (termasuk teori, konsep, deskripsi fisis dan geometris, serta standar dan parameter) yang digunakan dalam pendefinisian koordinat dari suatu atau beberapa titik dalam ruang. Dalam bidang geodesi dan geomatika, posisi-posisi titik biasanya dinyatakan dengan koordinat (dua-dimensi atau tiga-dimensi) yang mengacu pada sistem koordinat tertentu. Menurut C.Kotsakis (2012) Dalam realisasinya sistem referensi dinyatakan dalam bentuk jaring kontrol geodesi yang membentuk suatu kerangka referensi, karena adanya juga gangguan pada jenis pengukuran geodetik, untuk mendapatkan keakuratan dalam pengukuran maka kondisi eksternal pengukuran selalu dibutuhkan dalam penyesuaian jaringan geodetik.

*Free network adjustment* adalah suatu teknik perataan jaringan terkendala dalam pembentukan suatu kerangka referensi dengan ciri-ciri matriks persamaan normal tunggal adalah bias atau terkendala (E.Grafarend, B. Scaffrin, 1974), bentuk umum dari *Free network adjustment* menunjukkan bahwa solusi minimum ialah solusi jarak semu (Koch, 1987) dan *minimum constrain* adalah kondisi aljabar yang melibatkan beberapa stasiun dalam jaring tujuannya adalah untuk mendefinisikan, komponen fundamental (asal, orientasi, skala) dari sistem koordinat untuk penyesuaian jaringan tanpa mengganggu elemen-elemen yang dapat diestimasi dari pengamatan yang tersedia (C.Kotsakis, 2018) Maka dari itu untuk penyesuaian kondisi eksternal tanpa mengganggu karakter jaring yang diperkirakan dengan menggunakan *minimum constrain* dalam *free network adjustment*. Dengan demikian jaring dengan penyesuaian *minimum constrain* secara teori bebas dari distorsi gangguan geometris yang didapat dari kondisi datum, sedangkan dengan gangguan kerangka referensi yang disesuaikan hanya dipengaruhi oleh jaring pengukuran tetapi juga mempengaruhi kualitas dan posisi dari koordinat (C.Kotsakis, 2012). Dengan melihat masalah yang ada penggunaan metode *minimum constrain* dalam *free network adjustment* untuk menyelidiki jaring pengukuran non-linier yang mengakibatkan ketidakstabilan pada jaring pengukuran, akibat dari ketidakstabilan jaring pengukuran non linier dapat mengganggu kestabilan kerangka referensi dan ketelitian deformasi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah ada terjadi ketidakstabilan dalam jaringan pengukuran ?
2. Berapa besar nilai ketidakstabilan yang terjadi pada jaringan pengukuran ?

### **1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

#### **A. Tujuan Penelitian**

Adapun Tujuan akhir dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kestabilan dalam jaringan pengukuran
2. Mengetahui efek karakter dalam jaring yang tidak dapat diprediksi
3. Mengetahui efek karakter dalam jaring yang dapat diprediksi

#### **B. Manfaat Penelitian**

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan tentang pemanfaatan metode *free network adjustment* penentuan titik kontrol menggunakan *GNSS*.

### **1.4 Batasan Masalah**

Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah yang dibuat, maka dibuatlah batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *free network adjustment* untuk penentuan koordinat 3D
2. Penelitian ini dilakukan menggunakan *GNSS* untuk mengetahui koordinat titik BM dan titik Tp
3. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode pengukuran statik
4. Penelitian dilakukan dengan selang waktu pengukuran selama 3 bulan dan di setiap bulan dilakukan satu kali pengukuran
5. Perhitungan analisis kestabilan dalam jaring pengukuran menggunakan metode *minimum constrain* dalam *free network adjustment*.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Berikut sistematika penulisan tugas akhir ini secara garis besar, agar laporan penelitian ini dapat tersusun dan tertata dengan baik:

### **A. BAB I : Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang pemilihan tema, ruang lingkup permasalahan, tujuan dan manfaat serta sistematika penulisan.

### **B. BAB II : Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan teori-teori yang menjadi acuan dalam penulisan skripsi, yang di peroleh dari beberapa buku literature, perpustakaan, dan internet.

### **C. BAB III : Metodologi Penelitian**

Bab ini menjelaskan tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, dimulai dari lokasi, persiapan dan proses pengumpulan data, pengolahan data sampai pada hasil akhir yang menjadi tujuan dilakukannya penelitian.

### **D. BAB IV : Hasil Dan Pembahasan**

Hasil dan analisa pada bab ini menguraikan mengenai penjelasan dari hasil yang dilakukan dalam penelitian. Selanjutnya hasil dari penelitian akan dianalisa dan akan dikaji berdasarkan ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan.

### **E. BAB V : Kesimpulan Dan Saran**

Penutup pada bab ini merupakan bab terakhir dari penulisan laporan penelitian yaitu berupa kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta tambahan saran sebagai bentuk penyempurnaan pada penelitian ini kedepannya.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

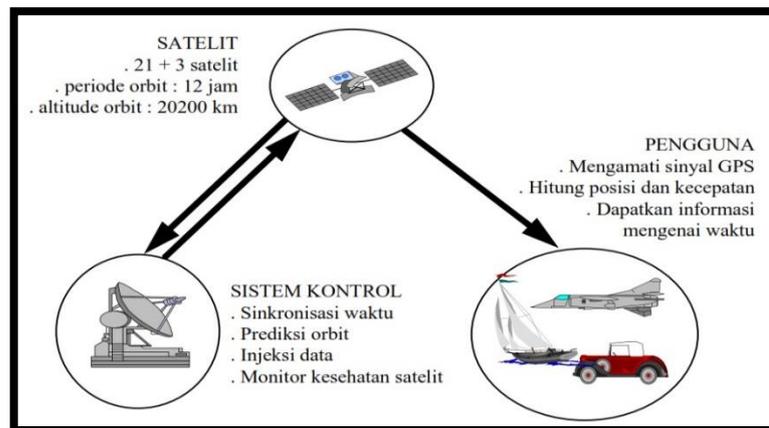
#### **2.1 GNSS (*Global Navigation Satellite System*)**

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan salah satu bagian dari GNSS yakni system satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. System ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinu diseluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan, saat ini GNSS sudah banyak digunakan orang saat ini GNSS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti.

GNSS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter. Secara umum ada tiga segmen dalam sistem GNSS yaitu segmen angkasa (satelit), segmen sistem kontrol dan segmen pengguna. Pada segmen angkasa, satelit GNSS dapat dianalogikan sebagai stasiun radio angkasa, yang dilengkapi dengan antena-antena untuk mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. Sinyal sinyal ini selanjutnya diterima oleh receiver GNSS di/dekat permukaan bumi, dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan, maupun waktu. Selain itu satelit GNSS juga dilengkapi dengan peralatan untuk mengontrol attitude satelit. Secara umum segmen sistem kontrol berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GNSS di manapun berada. Dalam hal ini alat penerima sinyal GNSS (GNSS receiver) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal sinyal dari satelit GNSS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan dan waktu.

Komponen utama dari suatu receiver GNSS secara umum adalah antena dengan pre-amplifier, bagian RF dengan pengidentifikasi sinyal dan pemroses sinyal, pemroses mikro untuk pengontrolan receiver, data sampling dan pemroses data ( solusi navigasi ), osilator presisi , catu daya, unit perintah dan tampilan, dan memori serta perekam data (Abidin, 2007). Ketika sinyal melalui lapisan atmosfer, maka sinyal tersebut akan terganggu oleh konten dari

atmosfer tersebut. Besarnya gangguan di sebut bias. Bias sinyal yang ada utamanya terdiri dari dua macam yaitu bias ionosfer dan bias troposfer. Bias ini harus diperhitungkan (dimodelkan atau diestimasi atau melakukan teknik differencing untuk metode diferensial dengan jarak baseline yang tidak terlalu panjang) untuk mendapatkan solusi akhir koordinat dengan ketelitian yang baik. Apabila bias diabaikan maka dapat memberikan kesalahan posisi sampai dengan orde meter. Pada sistem GNSS terdapat beberapa kesalahan komponen sistem yang akan mempengaruhi ketelitian hasil posisi yang diperoleh. Kesalahan-kesalahan tersebut contohnya kesalahan orbit satelit, kesalahan jam satelit, kesalahan jam receiver, kesalahan pusat fase antena, dan multipath (Abidin, 2007).

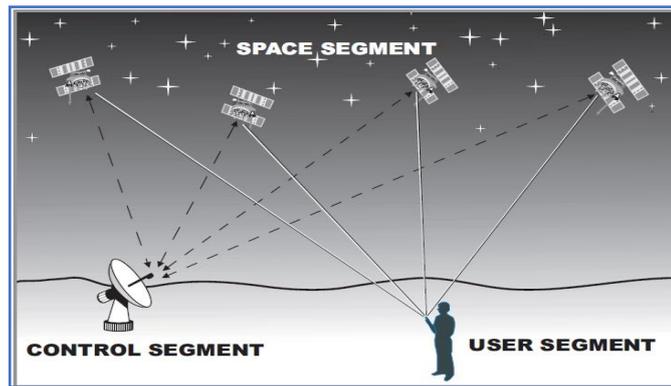


Gambar 2.1 Sistem Penentuan Posisi Global, GNSS (Abidin, 2007)



Gambar 2.2 GPS Geodetic (Surveyindosurta.com)

### 2.1.1 Segmen Sistem GNSS



Gambar 2.3 Segmen GNSS (Abidin,2007)

Pada dasarnya GNSS terdiri atas tiga segmen utama:

#### 1. Segmen Angkasa (*Space Segment*)

Segmen angkasa ini merupakan sistem yang tersusun atas satelit-satelit yang setidaknya 24 satelit GNSS mengorbit dan berstatus aktif, mereka bergerak pada sekitar 7.000 mil perjam sekitar 12.000 mil diatas permukaan bumi. Satelit GNSS dapat dianalogkan sebagai suatu sistem radio diangkasa yang mengirim dan menerima sinyal-sinyal gelombang. sinyal-sinyal tersebut oleh penerima GNSS di bumi diuraikan menjadi sinyal radio kode (dikenal sebagai psedorandom) yang memberikan informasi posisi, waktu, dan kecepatan. Satelit GNSS didukung oleh energi matahari dan baterai cadangan untuk tetap dapat mengorbit di angkasa. Setiap satelit mentransmisikan dua sinyal yaitu L1 (1575.42 MHz) dan L2 (1227.60 MHz). Sinyal L1 dimodulasikan dengan dua sinyal *pseudo-random* yaitu kode P (*protected*) dan kode C/A (*coarse/ aquisition*). Sinyal L2 hanya membawa kode P. Setiap satelit mentransmisikan kode yang unik sehingga penerima (perangkat GNSS) dapat mengidentifikasi sinyal dari setiap satelit (Abidin, 2007).

#### 2. Segmen Kontrol (*Control Segment*)

Segmen kontrol terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit. Berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit serta memastikan bahwa satelit berfungsi sebagaimana mestinya (Abidin, 2007). Fungsi segmen kontrol antara lain:

- a) Menjaga agar semua satelit berada pada posisi orbit yang seharusnya (*station keeping*).

- b) Memantau status dan kondisi dari semua sub sistem (bagian) satelit.
  - c) Memantau panel matahari satelit, level daya baterai dan *propellant* level.
  - d) Menentukan dan menjaga waktu sistem GNSS.
3. Segmen Pengguna (*User Segment*).

Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GNSS, baik di darat, laut maupun di angkasa. Alat penerima sinyal (*receiver*) diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GNSS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan maupun waktu (Abidin, 2007). Komponen utama dari suatu *receiver* GNSS secara umum adalah:

- a) Antena dengan *pre-amplifier*
- b) Bagian RF (*Radio Frequency*) dengan pengidentifikasi sinyal dan pemroses sinyal.
- c) Pemroses mikro untuk pengontrolan *receiver*, data sampling, dan pemroses data (solusi navigasi).
- d) Catu daya.
- e) Unit perintah dan tampilan.
- f) Memori serta perekam data.

### 2.1.2 Struktur Data GNSS

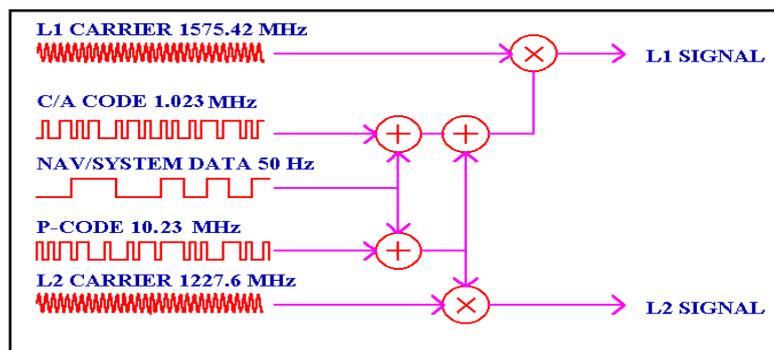
Sinyal GNSS merupakan bagian gelombang mikro dari spektrum gelombang elektromagnetik. Dari segi pemancaran sinyal, GNSS disebut sebagai sistem pasif karena pada kenyataannya hanya satelit yang memancarkan sinyal, sedangkan *receiver* GNSS dipermukaan bumi berfungsi sebagai penerima sinyal (satu arah dari satelit ke *receiver*). Karena tipikal sistem pasif inilah maka tidak ada batasan jumlah *receiver* GNSS yg dapat mengamati sinyal GNSS secara simultan (pada saat yang bersamaan) ( Apriliani, 2018).

Satelit berkomunikasi dengan *receiver* menggunakan kode Kode-kode tersebut dibawa oleh dua gelombang pembawa (*L1-L2 carrier wave*). Masing-masing gelombang pembawa memiliki karakteristik tersendiri (fase, amplitudo atau frekuensi) yang dapat dirubah atau dimodulasi untuk membawa informasi. Gelombang pembawa sinyal GNSS juga merupakan gelombang radio, bagian dari L-Band yg meliputi frekuensi gelombang *ultrahigh* radio dari 390 Mhz sampai 1550 Mhz. Namun demikian, gelombang pembawa L1 GNSS memiliki frekuensi

sedikit lebih tinggi dari definisi L-band standar. Sinyal GNSS terdiri atas Data Kode, Gelombang Pembawa dan Pesan Navigasi (Wahyono, 2009).

### 1) Data Kode

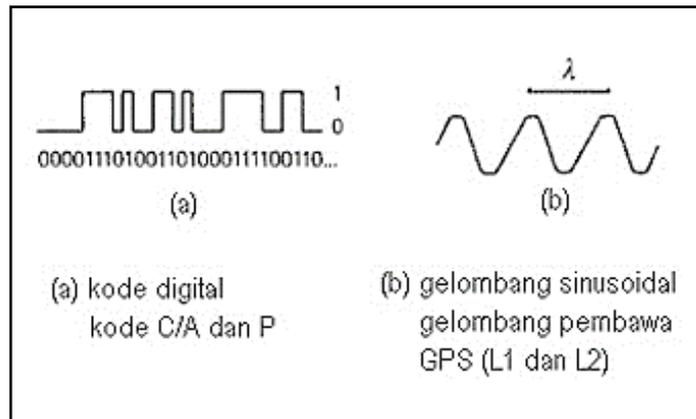
Data Kode GNSS terdiri atas 2 kode yakni C/A (*coarse acquisition*) dan P (*precision*). Kedua kode tersebut terdiri atas kode biner yang berisi angka 0 dan 1, yang sering disebut sebagai *chips* atau *codes*. Kode C/A memiliki rate sebesar 1.023 MBps (*million bits per second*) sedangkan Kode P 10.23 MBps. Setiap satelit baru dapat mengulang kembali kode P setelah 37 minggu.



Gambar 2.4 Data Kode GNSS (Dedi, 2006)

*Receiver* GNSS harus dapat membedakan transmisi kode P dari masing-masing satelit. Caranya adalah dengan memberikan informasi minggu tertentu kepada satu satelit tertentu. Sebagai contoh, jika kita menggunakan GNSS dan dilayar menampilkan SV14 (*space vehicle* 14) maka ini berarti satelit tersebut mentransmisikan data kode P untuk minggu ke 14. Kode C/A memiliki bit 10 kali lebih lambat dari kode P. Hal tersebut membuat proses identifikasi kode C/A mudah. Oleh karena itu kode C/A dapat ditransmisikan oleh masing-masing satelit dan informasi ini dapat diulang setiap 1 milidetik. Data inilah yg digunakan untuk menunjukkan posisi real-time pada layar GNSS (Dedi, 2006).

2) Gelombang Pembawa (*Carrier Wave*)

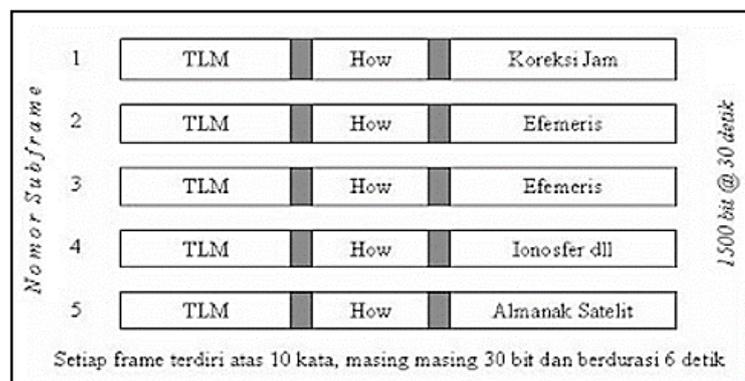


Gambar 2.5 Gelembung Pembawa (Dedi, 2006)

Sebuah gelombang dengan panjang gelombang tertentu dalam durasi 1 detik, disebut juga 1 *cycle* per detik, didefinisikan memiliki frekuensi 1 *hertz* (Hz) dalam sistem Sistem Satuan Internasional (SI). Frekuensi 1 Hz dapat dianggap sebagai frekuensi yang rendah jika dibandingkan rentang bunyi yang bisa didengar oleh manusia (25Hz-15.000Hz) Gelombang pembawa sinyal GNSS masing-masing adalah L1 dengan frekuensi 1575.42 MHz dan L2 dengan frekuensi 1227.60 MHz. Panjang gelombang masing-masing *carrie wave* adalah 19 cm untuk L1 dan 24.4 cm untuk L2 (Dedi, 2006).

3) Pesan Navigasi (*Navigation Message*)

Pesan navigasi memiliki frekuensi 50 Hz dan dimodulasikan kedalam gelombang pembawa seperti halnya kode C/A dan kode P. Pesan navigasi terdiri atas 1500bit terbagi atas lima *subframes* dengan masing masing terdiri atas 10 kata (masing-masing 30 bit). Kelima *subframes* ini digunakan untuk memberikan informasi-informasi penting kepada *receiver* (Dedi, 2006).



Gambar 2.6 Lima Subframes (Dedi, 2006)

- a) *Subframe1* memberikan informasi tentang simpangan (*drift*) jam satelit. Data ini sering juga disebut sebagai AODC (*age of data clock*), sebuah keterangan tentang tingkat reliabilitas koreksi jam satelit.
- b) *Subframe2* dan 3 memberikan informasi tentang posisi satelit (efemeris satelit) dan yang disebut sebagai *broadcast ephemeris*.
- c) *Subframe4* berisi informasi untuk koreksi atmosfer. Namun demikian, seperti halnya *Subframe1*, informasi tersebut hanya mampu mengurangi sebagian kesalahan yang ada.
- d) *Subframe5* berisi informasi tentang almanak satelit. Almanak satelit adalah data yang menginformasikan kepada *receiver* dimana satelit GNSS yg lain berada. *Subframe* ini berisi efemeris dari seluruh 24 satelit yang beroperasi. Berbeda dengan *broadcast ephemeris*, data almanak berisi informasi kasar tentang posisi satelit. Data ini digunakan untuk membantu *receiver* untuk "lock on" ke satelit. *Subframe5* juga berisi data *satellite health* yg menginformasikan kondisi satelit. Hal ini dikarenakan pada waktu tertentu suatu satelit kemungkinan bermasalah dengan sistemnya, sebagian besar karena masalah jam satelit.

### 2.1.3 Metode Pengukuran GNSS

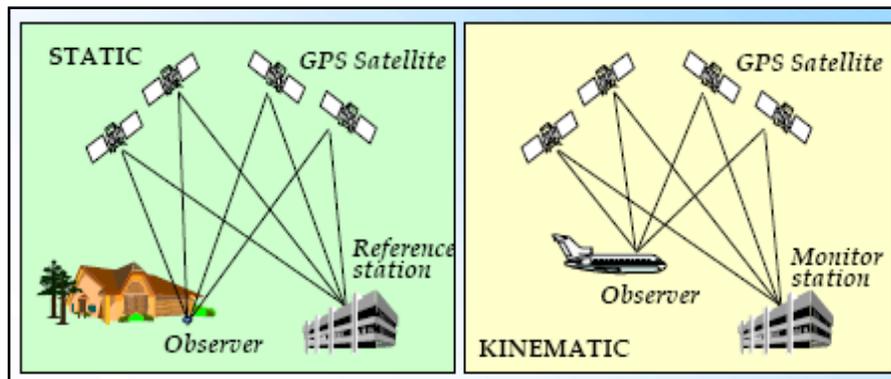
Secara garis besar penentuan posisi dengan GNSS dapat dibagi 2, yaitu *absolute positioning* dan *relatif positioning*. Metode-metode ini yang menentukan ketelitian posisi yang diinginkan. Ketelitian GNSS bervariasi mulai dari fraksi meter sampai dengan millimeter, tergantung pada metode apa yang digunakan. Metode-metode tersebut adalah salah satunya (Abidin, 2007) :

#### 1. Metode Differensial

Berkaitan dengan penentuan posisi secara *differensial*, ada beberapa catatan yang perlu diperhatikan yaitu (Abidin, 2007):

- a) Metode ini kadang dinamakan juga metode *relative positioning*
- b) Diperlukan setidaknya 2 *receiver*, dimana salah satunya terletak di titik yang diketahui koordinatnya (*reference station*).
- c) Posisi ditentukan relatif terhadap koordinat referensi.

- d) Konsep dasar: proses *differential* dapat menghilangkan dan atau mengurangi efek dari kesalahan dan bias, sehingga dapat meningkatkan akurasi posisi.
- e) Efektivitas proses *differential* sangat tergantung pada jarak antara stasiun pemantau dan titik yang akan diposisikan (semakin pendek jarak maka semakin efektif, begitupun sebaliknya).
- f) Titik yang diposisikan dapat diam maupun bergerak.
- g) Tingkat akurasi posisi berkisar dari menengah ke tinggi
- h) Aplikasi utama metode ini adalah untuk keperluan survei dan pemetaan, survei geodesi dan navigasi.

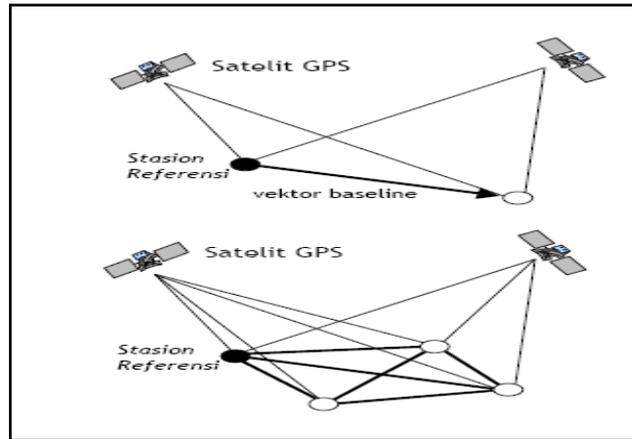


Gambar 2.7 Differential Positioning (Abidin,2007)

## 2. Metode Statik

Berkaitan dengan penentuan posisi secara statik, ada beberapa catatan yang perlu diperhatikan yaitu:

- a. Titik-titik yang akan ditentukan posisinya tidak bergerak.
- b. Bisa berupa absolut ataupun *differential positioning*
- c. Bisa menggunakan data *pseudorange* dan/atau fase
- d. Ukuran lebih pada suatu epok pengamatan biasanya banyak
- e. Keandalan dan ketelitian posisi yang diperoleh umumnya tinggi (orde mm sampai cm)
- f. Aplikasi: penentuan titik-titik kontrol untuk survei pemetaan maupun survei geodetik.



Gambar 2.8 *Static Positioning* (Abidin, 2007)

## 2.2 Datum Pada Jaring Geodesi

Datum pada jaring kerangka geodesi didefinisikan sebagai parameter minimum yang diperlukan untuk mendefinisikan jaring dalam ruang atau untuk menempatkan jaring kerangka ke dalam sistem koordinat secara relatif yang telah ditentukan terlebih dahulu (Kuang,1996). Untuk membatasi nilai tersebut, beberapa kendala perlu dimasukkan pada proses perataan. Jumlah kendala ini bergantung pada sistem jaring yang dibentuk, satu, dua, atau tiga dimensi. Jumlah kendala minimal yang diperlukan jaring adalah skala, rotasi, dan satu titik yang diketahui nilainya (Kuang,1996). *global navigation satellite system* yang menggunakan sistem tiga dimensi, akan memiliki tujuh parameter datum, yakni tiga parameter translasi, tiga parameter rotasi, dan satu skala. Pada pengamatan *global navigation satellite system* metode statik mampu memberikan nilai translasi jaring terhadap origin (titik 0) dari sistem penentuan posisi WGS84. Ketika pengamatan *global navigation satellite system* dilakukan pada beberapa titik, dapat diasumsikan faktor rotasi dan skala terdefinisi. Namun, karena pada pengamatan *global navigation satellite system*, nilai posisi secara relatif memberikan akurasi yang lebih baik daripada penentuan posisi secara absolut, maka dikatakan *global navigation satellite system* memberikan nilai parameter translasi yang rendah, tetapi sangat baik untuk parameter rotasi dan skala (Kuang,1996). Oleh karena itu, pendefinisian datum *global navigation satellite system* memuat nilai parameter translasi, sedangkan parameter rotasi dan skala dianggap tidak ada (sama dengan 0). Terdapat tiga jenis kendala yang dapat dimasukkan kedalam proses perataan yakni *minimum constraint*, *inner constraint*, dan *over constraint*. Penelitian ini menggunakan *minimum*

*constraint* dan *inner constraint* dalam mendefinisikan datum pada perhitungan.

## 2.3 Prosedur Pemantauan GNSS

### 2.3.1 Titik-titik Pemantauan yang Terletak di Permukaan Struktur

Memilih titik-titik yang sesuai pada struktur dimana titik akan ditempatkan. Titik-titik ini harus dipilih sedemikian rupa sehingga dapat diamati dari tidak kurang dari dua titik acuan/kontrol. Hal ini diperlukan karena penyesuaian kuadrat terkecil dari pengamatan. Titik harus ditempatkan tetap sedemikian rupa sehingga setiap gerakannya akan menjadi perpindahan struktur itu sendiri.

### 2.3.2 Penetapan Titik Kontrol/Referensi

Satu set titik kontrol/referensi harus didirikan di atas landasan atau platform yang stabil untuk menentukan kerangka referensi untuk pergerakan. Titik kontrol biasanya dimonumenkan dan diasumsikan stabil selama periode pemantauan. Mereka juga dipilih di mana mereka tidak akan terganggu dan di mana pengamatan dapat dengan mudah dilakukan dari mereka ke tidak kurang dari dua titik pemantauan. Pengamatan stasiun kontrol harus dilakukan secara akurat.

### 2.3.3 Waktu dan Lama Pengamatan GNSS

Waktu dan lama pengamatan akan mempengaruhi tidak hanya ketelitian posisi yang diperoleh tetapi juga tingkat kesuksesan dari penentuan ambiguitas fase sinyal GNSS serta efek dan proses penjalaran dari kesalahan dan bias terhadap ketelitian posisi:

Tabel 2.1 Tabel Selang Waktu Pengamatan Baseline GNSS

| <b>Jumlah Satelit (GDOP&lt;8)</b> | <b>Panjang Baseline (km)</b> | <b>Siang Hari (menit)</b> | <b>Malam Hari (menit)</b> |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Statik Singkat                    |                              |                           |                           |
| 4 atau 5                          | < 5                          | 5 - 10                    | 5                         |
| 4 atau 5                          | 5 - 10                       | 10 - 20                   | 5 - 10                    |
| 4 atau 5                          | 10 - 15                      | > 30                      | 5 - 20                    |
| Statik                            |                              |                           |                           |
| 4 atau 5                          | 15 - 30                      | 60 - 120                  | 60                        |

|          |      |           |     |
|----------|------|-----------|-----|
| 4 atau 5 | > 30 | 120 - 180 | 120 |
|----------|------|-----------|-----|

| Panjang Baseline (km) | Metode Pengamatan  | Lama Pengamatan (hanya L1) | Lama Pengamatan (L1 dan L2) |
|-----------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 0 - 5                 | <i>Stop-and-Go</i> | 2 menit                    | 2 menit                     |
| 0 - 5                 | Statik Singkat     | 30 menit                   | 15 menit                    |
| 5 - 10                | Statik Singkat     | 50 menit                   | 25 menit                    |
| 10 - 30               | Statik             | 90 menit                   | 60 menit                    |
| 30 - 50               | Statik             | 180 menit                  | 120 menit                   |

Tabel 2.2 Selang Waktu Pengamatan Baseline GNSS  
 Sumber: Abidin H.Z., Jones A., Kahar J., (2011)

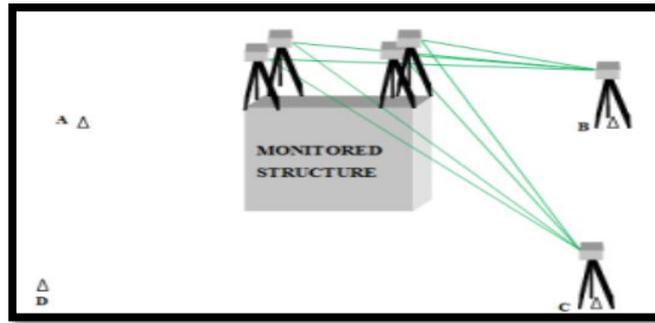
|              | Lama Pengamatan Tipikal |               |
|--------------|-------------------------|---------------|
|              | Satu Frekuensi          | Dua Frekuensi |
| 1 - 3 km     | 15 menit                | 10 menit      |
| 3 - 5 km     | 20 menit                | 15 menit      |
| 5 - 10 km    | 30 menit                | 20 menit      |
| 10 - 20 km   | 2 jam                   | 1 jam         |
| 20 - 100 km  | 4 jam                   | 2 jam         |
| 100 - 200 km | 6 jam                   | 3 jam         |
| 200 - 500 km | 12 jam                  | 6 jam         |
| > 500 km     | 24 jam                  | 12 jam        |

Gambar 2.9 Prosedur Pengamatan GNSS Geodetic Metode Statik  
 (Sumber: Bakosurtanal)

### 2.3.4 Kumpulan Pengamatan Geodesi pada Interval Waktu

Setelah memilih titik-titik pemantauan pada struktur dan menetapkan stasiun referensi di sekitar struktur, langkah selanjutnya adalah melakukan pengamatan dari stasiun referensi ke titik pemantauan pada interval tertentu. Interval dapat berupa satu bulan, tiga bulan, enam bulan atau satu tahun tergantung pada tujuan survei dan besaran dan arah deformasi/pergerakan yang diharapkan. Dalam setiap pengamatan epoch, masing-masing titik pemantauan harus diamati dari lebih dari satu stasiun referensi untuk memungkinkan pengamatan yang berlebihan, serta

penyesuaian kuadrat terkecil dari pengamatan epoch.



Gambar 2.10 Pengamatan GNSS Titik Pemantauan Relatif terhadap stasiun kontrol (Eteje. S.O 2020)

## 2.4 *Least Square Adjustment*

*Least square adjustment* adalah suatu cara untuk menentukan nilai koreksi yang harus diberikan pada hasil pengukuran, sehingga hasil pengukuran memenuhi syarat geometrinya (Ghilani, 2006). *Least square adjustment* digunakan dalam perhitungan *free network adjustment* untuk mendapatkan matriks estimasi untuk digunakan dalam proses perhitungan *minimum constrain*, model *least square adjustment* yang digunakan yaitu non linier berbasis koordinat dan jarak memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Langkah awal adalah menentukan persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara nilai ukuran dengan parameter sebagai berikut:

$$L + V = AX = f(H)$$

$$f = (H) = \Delta H =)$$

2. Selesai semua data pengamatan komponen pengantar dihubungkan dengan parameter nilai tinggi yang akan dihitung, selanjutnya nilai koefisien dari parameter dimasukkan kedalam matriks koefisien parameter sebagai:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1^n & 0 & 0 & 1^n & 0 & 0 & 1^n \end{bmatrix}$$

3. Langkah selanjutnya menghitung nilai matriks L, nilai matriks L dapat ditulis sebagai berikut:

$$\hat{L}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \Delta X_{BM1-TP1} + X_{BM1} \\ \Delta Y_{BM1-TP1} + Y_{BM1} \\ \vdots \\ \Delta X_{BM1-TP1} + X_{BM1} \\ \Delta Y_{BM1-TP1} + Y_{BM1} \end{bmatrix}$$

Setelah diperoleh nilai matriks A dan L maka selanjutnya dapat dihitung nilai matriks  $\hat{X}$  dengan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{X} = [Ax A^t]^{-1} A^T \cdot L \quad 2.1$$

Keterangan:

$A$  = matriks koefisien parameter

$\hat{X}$  = matriks estimasi

$[Ax A^t]^{-1}$  = matriks kovaktor

$L$  = nilai ukuran

- Menghitung nilai matriks residual dari ukuran menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = A \cdot \hat{X} - L \quad 2.2$$

Keterangan:

$A$  = matriks koefisien parameter

$\hat{X}$  = matriks estimasi

$L$  = nilai ukuran

- Nilai residual tersebut dikoreksikan kepada nilai ukuran sehingga diperoleh nilai ukuran yang sebenarnya atau  $\hat{L}$  sebagai berikut:

$$\hat{L} = L + V \quad 2.3$$

Keterangan:

$\hat{L}$  = nilai ukuran sebenarnya

$L$  = nilai ukuran

$V$  = matriks residu

- Selanjutnya dapat dihitung juga nilai ketelitian parameter dengan terlebih dahulu menghitung nilai standart deviasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_o = \sqrt{\frac{V^t - V}{n - u}} \quad 2.4$$

Keterangan :

$V^t$  = Matriks koreksi

$n$  = banyak titik

$u$  = banyak observasi

$S_0$  = Standar deviasi

7. Ketelitian parameter dari persamaan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Sigma_{XX} = S_0 \cdot Q_{XX} \quad 2.5$$

*Keterangan :*

$\Sigma_{XX}$  = Matriks ketelitian parameter

$S_0$  = Standar deviasi

$Q_{XX}$  = Matirks kovaktor parameter

$$\Sigma_{XX}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp1}^2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp1}^2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp1}^2} & \dots & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

8. Ketelitian ukuran dapat dihitung terlebih dahulu menghitung nilai matriks varian kovarian data ukuran dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{LL} = J \cdot Q_{XX} \cdot J^t \quad 2.6$$

*Keterangan :*

$Q_{LL}$  = Matriks apriori varian kovarian

$J$  = Matriks koefisien parameter

$J^t$  = transpose matriks koefisien parameter

$Q_{XX}$  = Matirks kovaktor parameter

$$Q_{LL}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp1-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp2-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp3-bm1}^2} & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp4-bm3}^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp5-bm3}^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp6-bm3}^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

9. Matriks bobot pengukuran (W) atau  $\Sigma_{LL}$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Sigma_{LL} = S_O \cdot Q_{LL} \quad 2.7$$

*Keterangan :*

$\Sigma_{LL}$  = Matriks bobot pengamatan

$Q_{LL}$  = Matriks apriori varian kovarian

$S_O$  = Standar deviasi

$$\Sigma_{LL}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp1-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp2-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp3-bm1}^2} & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp4-bm3}^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp5-bm3}^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp6-bm3}^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

10. Selanjutnya semua persamaan pengamatan jarak yang telah dilinierisasi dimasukkan kedalam masing-masing persamaan untuk membentuk matriks

koefisien parameter (J) dimana matriks (J) berukuran n x m dan bentuk matriks J

$$J^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{(Xtp1-Xbm1o)}{dbm1-tp1} & \frac{(Ytp1-Ybm1o)}{dbm1-tp1} & \frac{(Ztp1-Zbm1o)}{dbm1-tp1} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{(Xtp6-Xbm1o)}{dbm1-tp6} & \frac{(Ytp6-Ybm1o)}{dbm1-tp6} & \frac{(Ztp6-Zbm1o)}{dbm1-tp6} \\ \frac{(Xtp1-Xbm2o)}{dbm3-tp2} & \frac{(Ytp1-Ybm2o)}{dbm2-tp2} & \frac{(Ztp1-Zbm2o)}{dbm2-tp2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{(Xtp6-Xbm2)}{dbm2-tp6} & \frac{(Ytp6-Ybm2)}{dbm1-tp6} & \frac{(Ztp6-Zbm2o)}{dbm1-tp6} \\ \frac{(Xtp1-Xbm3o)}{dbm3-tp1} & \frac{(Ytp1-Ybm2o)}{dbm3-tp1} & \frac{(Ztp1-Zbm2o)}{dbm3-tp1} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{(Xtp6-Xbm3o)}{dbm3-tp6} & \frac{(Ytp6-Ybm3o)}{dbm3-tp6} & \frac{(Ztp1-Zbm3o)}{dbm3-tp6} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

11. Penentuan matriks observasi pengamatan (L) dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\hat{L} = d_{BM1-TP1} - d_{BM1-TP1o} \quad 2.8$$

$$\hat{L}^{m \times n} = \begin{bmatrix} d_{BM1-TP1} - d_{BM1-TP1o} \\ d_{BM1-TP1} - d_{BM1-TP1o} \\ \vdots \\ d_{BM3-TP1} - d_{BM3-TP1o} \\ d_{BM3-TP1} - d_{BM3-TP1o} \end{bmatrix}$$

12. Hasil dari  $(J^t \cdot J)^{-1}$  dalam persamaan 2.10 ialah matriks  $Q_{XX}$  atau matriks kovaktor.

$$Q_{XX}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp1}^2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp1}^2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp1}^2} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

13. Setelah diperoleh matriks J dan L dari persamaan 2.5 kemudian dapat menghitung matriks estimasi parameter ( $\hat{X}$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{X}_1 = (J^t \cdot J)^{-1} \cdot J^t \cdot L \quad 2.9$$

Keterangan :

$$(J^t \cdot J)^{-1} = \text{Matriks kovaktor parameter}$$

- $\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*  
 $L$  = Observasi jarak  
 $J^t$  = Transpose matriks koefisien parameter

$$\hat{X}_1^{m \times n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{1TP1} \\ \hat{Y}_{1TP1} \\ \hat{Z}_{1TP1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{1TP4} \\ \hat{Y}_{1TP4} \\ \hat{Z}_{1TP4} \end{bmatrix}$$

14. Penentuan matriks koreksi (V) atau matriks residu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = J \cdot \hat{X}_1 - L \quad 2.10$$

*Keterangan :*

- $V$  = matriks koreksi atau residu  
 $J$  = Matriks koefisien parameter  
 $\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*  
 $L$  = Observasi jarak

$$V^{m \times n} = \begin{bmatrix} V_{BM1-TP1} \\ V_{BM1-TP2} \\ V_{BM1-TP3} \\ \vdots \\ V_{BM3-TP1} \\ V_{BM3-TP2} \\ V_{BM3-TP3} \end{bmatrix}$$

15. Perhitungan ketelitian parameter terlebih dahulu menghitung standar deviasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_o = \sqrt{\frac{V^t - V}{n - u}} \quad 2.11$$

*Keterangan :*

- $V^t$  = Matriks koreksi  
 $n$  = banyak titik  
 $u$  = banyak observasi  
 $S_o$  = Standar deviasi

16. Ketelitian parameter dari persamaan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Sigma_{XX} = S_0 \cdot Q_{XX} \quad 2.12$$

*Keterangan :*

$\Sigma_{XX}$  = Matriks ketelitian parameter

$S_0$  = Standar deviasi

$Q_{XX}$  = Matriks kovaktor parameter

$$\Sigma_{XX}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp1}^2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp1}^2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp1}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp1}^2} & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{xztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{yztp6}^2} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zxtp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{zytp6}^2} & \frac{\sigma^2}{\sigma_{ztp6}^2} \end{bmatrix}$$

17. Ketelitian ukuran dapat dihitung terlebih dahulu menghitung nilai matriks varian kovarian data ukuran dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{LL} = J \cdot Q_{XX} \cdot J^t \quad 2.13$$

*Keterangan :*

$Q_{LL}$  = Matriks apriori varian kovarian

$J$  = Matriks koefisien parameter

$J^t$  = transpose matriks koefisien parameter

$Q_{XX}$  = Matriks kovaktor parameter

$$Q_{LL}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp1-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp2-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp3-bm1}^2} & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp4-bm3}^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp5-bm3}^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp6-bm3}^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

18. Matriks bobot pengukuran (W) atau  $\Sigma_{LL}$  dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Sigma_{LL} = S_O \cdot Q_{LL} \tag{2.14}$$

*Keterangan :*

- $\Sigma_{LL}$  = Matriks bobot pengamatan
- $Q_{LL}$  = Matriks apriori varian kovarian
- $S_O$  = Standar deviasi

$$\Sigma_{LL}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp1-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp2-bm1}^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp3-bm1}^2} & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp4-bm3}^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp5-bm3}^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\sigma^2}{\sigma_{dtp6-bm3}^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

### 2.5 Free network adjustment

Menurut (Kotsakis, 2012) metode *free network adjustment* ialah pengaturan mendasar untuk penyesuaian jaringan yang bermasalah, dan pembentukan kerangka referensi spasial dari data geodetik. Adapun prinsip normal yang disebut prinsip

tunggal atau *free network adjustment* yang dikemukakan oleh (Sillard and Boucher,2001) dengan persamaan sebagai berikut :

$$N(X_o - \hat{X}_1) = U \quad 2.15$$

*Keterangan :*

$N$  = Matriks koefisien parameter

$X_o$  = Matriks pendekatan

$\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*

$U$  = Suku - suku vektor inependen

Metode ini dapat dihitung dari hasil *lest square adjusment* yang dilinierisasi dari model perataan jarak berbasis koordinat yang menggambarkan pengukuran non linier. Proses analisisnya tergantung pada *lest square adjusment* dengan hubungan matematis sebagai berikut (blaha, 1971a):

$$N = J^T \cdot W \cdot J \text{ dan } U = J^t \cdot W \cdot (X_o - \hat{X}_1) \quad 2.16$$

*Keterangan :*

$N$  = Matriks koefisien parameter

$X_o$  = Matriks pendekatan

$\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*

$J^T$  = Transpose atriiks koefisien parameter

$J$  = Matriks koefisien parameter

$W$  = Matriks bobot pengamatan

Dimana  $X_o$  ialah jarak yang dihitung dari koordinat perkiraan awal dan  $\hat{X}_1$  ialah koordinat estimasi dalam *lest square adjusment*. Persamaan 2.9 ialah persamaan yang sangat penting untuk analisis jaring pengukuran yang tidak memiliki datum (Kotsakis,2012). Persamaan 2.9 juga mempertahankan informasi dan karakter jaringan yang dapat diestimasi (Grafarend dan Schaffrin 1976). Untuk analisis masalah kestabilan jaring dari solusi *free network adjusment* perlu menggunakan metode *minimum constrains* dalam *free network adjusment* untuk mendeteksi Batasan dalam pengukuran yang diakibatkan pengukuran non linier yang mengakibatkan ketidakstabilan jarring.

## 2.6 Minimum Constraints

*Minimum constraints* menurut (Rodrigues dkk,2020) adalah suatu teknik untuk menggabungkan parameter sudut, tinggi dan jarak kedalam suatu sistem referensi tanpa melibatkan titik kontrol yang telah terdefinisi datunya. Menurut (Haim B.Papo,1986) Sifat perambatan kesalahan yang optimal dikombinasikan dengan datum yang bermakna dan unik datum yang dibuat tanpa mengganggu geometri bagian dalam jaringan. Model *minimum constraints* yang digunakan untuk mendeteksi kekurangan datum dalam pengukuran non linier akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Penentuan solusi tunggal dari persamaan (2.15) membutuhkan seperangkat kondisi *eksternal* untuk menentukan kerangka koordinat dengan sehubungan dengan posisi yang disesuaikan dari stasiun jaringan harus dihitung. Dalam *minimum constraints* persamaan awal sama dengan penentuan nilai N, model persamaan (2.15) sama dengan persamaan (2.16) dengan jumlah matriks sama N, Persamaan-persamaan ini merupakan apa yang disebut dengan kendala minimum atau *minimum constraints* (Koch,1999). Persamaan sebagai berikut:

$$H(X_o - \hat{X}_1) = C \quad 2.17$$

*Keterangan :*

$H$  = Matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$X_o$  = Matriks pendekatan

$\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*

$C$  = Jarak semu

Dimana  $H$  dan  $C$  didapat dari *least square adjusment* non linier yang mencerminkan solusi bebas berbasis koordinat dan jarak yang terkendala (Kotsakis,2012).

$$H^{m \times n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} X & - & X_o \\ Y & - & Y_o \\ Z & - & Z_o \end{bmatrix}$$

2. Untuk mencari kesalahan yang signifikan pada jaring pengukuran dan untuk mendapatkan informasi (minimum) yang diperlukan dalam definisi datum dengan persamaan sebagai berikut:

$$(N + H^t \cdot W \cdot H)(X_o - \hat{X}_1) = U + H^t \cdot W \cdot C \quad 2.18$$

*Keterangan :*

$H$  = Matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$X_o$  = Matriks pendekatan

$\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*

$N$  = Matriks koefisien parameter

$W$  = Matriks bobot pengamatan

$U$  = Suku - suku vektor inependen

$H^t$  = Transpose matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$H$  = Matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$C$  = Jarak semu

3. Persamaan (2.18) menunjukkan solusi bebas bersih yang benar secara matematis namun secara geografis bermasalah karena kesalahan yang signifikan pada jaring pengukuran (Xu,1997). Jika ada sedikit gangguan signifikan dapat diperkuat dengan persamaan sebagai berikut:

$$(N + H^t \cdot W \cdot H)^{-1} H^t \cdot W \quad 2.19$$

*Keterangan :*

$N$  = Matriks koefisien parameter

$W$  = Matriks bobot pengamatan

$U$  = Suku - suku vektor inependen

$H^t$  = Transpose matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$H$  = Matriks terkendala dalam *minimum constraint*

Dimana persamaan (2.18) menunjukkan efek yang tidak berarti dalam bentuk yang tidak terkondisi untuk matriks normal yang dibatasi. Namun  $N + H^t \cdot W \cdot H$  menunjukkan ketidakstabilan yang berhubungan dengan *frame* untuk jaringan yang disesuaikan sehubungan dengan *minimum constrains* (C.Kotsakis, 2012).

2. Untuk menentukan nilai  $\hat{X}_2$  dalam *minimum constrains* sama dengan besar matematika persamaan (2.20) (Koch,1999) Dimana  $N^-$  ialah hasil dari proses linierisasi invers dari matriks  $N$  dan  $z$  ialah Matriks sembarang dan  $I$  ialah matriks Identitas dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{X}_2 = \hat{X}_1 + N^- u + (I - N^- N) z \quad 2.20$$

*Keterangan :*

$\hat{X}_2$  = Matriks estimasi dalam *minimum constraint*

$\hat{X}_1$  = Matriks estimasi dalam *least square adjument*

$N^-$  = Matriks kovaktor parameter terkendala

- $z$  = Matriks sembarang
- $I$  = Matriks identitas
- $U$  = Suku – suku vektor inependen

$$\hat{X}_2^{m \times n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{2Tp1} \\ \hat{Y}_{2Tp1} \\ \hat{Z}_{2Tp1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{2Tp4} \\ \hat{Y}_{2Tp4} \\ \hat{Z}_{2Tp4} \end{bmatrix}$$

3. Generalisasi invers dari matriks N didapat dari persamaan sebagai berikut :

$$N^- = (N + H^T \cdot W \cdot H)^{-1} \quad 2.21$$

*Keterangan :*

$N$  = Matriks koefisien parameter

$W$  = Matriks bobot pengamatan

$U$  = Suku – suku vektor inependen

$H^t$  = Transpose matriks terkendala dalam *minimum constraint*

$H$  = Matriks terkendala dalam *minimum constraint*

4. Untuk mendefinisikan datum yang diperlukan dalam *minimum constrains* dengan cara merubah vektor pengukuran dari persamaan (2.15) menjadi persamaan terkendala yang digunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$H = (\hat{X} - X_o) = Hz \quad 2.22$$

*Keterangan :*

$H$  = Matriks terkendala dalam

$Hz$  = Jarak semu

### 2.7 Transformasi-S

Transformasi-S digunakan untuk menghubungkan solusi *minimum constrains* dalam *free network adjustment* dengan persamaan yang dikemukakan oleh (Koch,1999), dalam bentuk persamaan yang paling sederhana dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{X}_3 = \hat{X}_2 + E^T \theta \quad 2.23$$

*Keterangan :*

$\hat{X}_3$  = Matriks estimasi dalam transformasi s setelah ditambah dengan kendala dalam dan vektor derajat kebebasan

$\hat{X}_2$  = Matriks estimasi dalam *minimum constraint*

$E^T$  = Transpose matriks terkendala dalam type E

$\theta$  = Vektor derajat kebebasan

$$\hat{X}_1^{m \times n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{3Tp1} \\ \hat{Y}_{3Tp1} \\ \hat{Z}_{3Tp1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{3Tp4} \\ \hat{Y}_{3Tp4} \\ \hat{Z}_{3Tp4} \end{bmatrix}$$

Dimana  $\hat{X}_2$  ialah matriks estimasi yang didapat dalam persamaan (2.20) *minimum constrains*,  $\hat{X}_3$  ialah matriks estimasi dalam transformasi s yang telah ditambah dengan vektor derajat kebebasan ( $\theta$ ) dan  $E^T$ , matriks E ialah matriks kendala dalam yang sama dengan persamaan (2.17) yang sama dengan matriks H, matriks type E memiliki 2 tipe (i) tidak bergantung pada pembobotan dan (ii) bergantung pada pada cacat datum dan konfigurasi jaring (2.18) (altamimi et al, 2002a) dan  $\theta$  ialah vektor derajat kebebasan didalam matriks terkendala jumlah matriks ini sama dengan banyaknya observasi. Untuk mendapatkan koordinat estimasi yang disebut dengan  $X'_{trf}$  dari s transformasi memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan untuk mencari  $\theta$  vektor derajat kebebasan di dalam matriks terkendala, Dimana  $H$  ialah matriks observasi terkendala dalam *minimum constrains* dan  $W$  ialah matriks bobot yang didapat dari *Least square adjusment* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\theta = (HWE^t)^{-1}H.W.(\hat{X}_3 - \hat{X}_2) \quad 2.24$$

*Keterangan :*

$(HWE^t)^{-1}$  = Invers matriks terkendala

$H$  = Matriks terkendala dalam

$W$  = Matriks bobot pengamatan

$\hat{X}_3$  = Matriks estimasi dalam transformasi s setelah ditambah dengan kendala dalam dan vektor derajat kebebasan

$\hat{X}_2$  = Matriks estimasi dalam *minimum constraint*

2. Untuk mencari  $\hat{X}_4^{ext}$  maka persamaan (2.25) dalam transformasi s harus memenuhi persamaan (2.22) (C.Kotsakis, 2012), maka persamaan untuk memenuhi kondisi tersebut sebagai berikut:

$$\hat{X}_4^{ext} = (I + E^t(HE^t)^{-1}H)\hat{X}_2 + E^t(HE^t)^{-1}(c + H_{X_o}) \quad 2.25$$

*Keterangan :*

$\hat{X}_4$  = Matriks estimasi dalam transformasi s yang sama dengan matematika

$(HE^t)^{-1}$  = Invers matriks terkendala

$I$  = Matriks identitas

$c$  = Jarak semu

$H_{X_o}$  = Matriks solusi bebas bersih

$E^t$  = Transpose matriks terkendala dalam type E

$\hat{X}_2$  = Matriks estimasi dalam *minimum constraint*

$$\hat{X}_4^{m \times n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{4Tp1} \\ \hat{Y}_{4Tp1} \\ \hat{Z}_{4Tp1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{4Tp4} \\ \hat{Y}_{4Tp4} \\ \hat{Z}_{4Tp4} \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.17) memberikan dasar fundamental untuk menganalisis pengaruh vektor *minimum constrains* dan gangguannya pada penerimaan geodetik dari solusi bebas bersih yang sesuai dengan matriks *minimum constrains* yang diberikan H (Kotsakis, 2012).

3. Parameter S transformasi yang sesuai  $\theta$  memungkinkan untuk interpretasi dengan mudah dan mencerminkan (perbedaan) parameter yang tidak dapat diestimasi dalam  $\hat{X}_4^{ext} - \hat{X}_2$  dan karena Perbedaan kondisi datum yang

digunakan dalam setiap solusi (blaha,1971). Tetapi dalam penelitian kali ini menggunakan koordinat dengan sistem datum yang sudah sama maka tahapan ini tetap dilakukan tetapi tidak menggunakan parameter datum apapun. Perhitungan ini memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\hat{X}_5 = \hat{X}_4 + G^t \cdot q \quad 2.26$$

*Keterangan :*

$\hat{X}_5$  = Matriks estimasi dalam transformasi s setelah ditambah dengan matriks G (3 translasi, 3 rotasi dan 1 skala).

$\hat{X}_2$  = Matriks estimasi dalam *minimum constraint*

$G^t$  = Matriks transformasi (translasi, rotasi, skala)

$q$  = Vektor derajat kebebasan

$$\hat{X}_5^{m \times n} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{5Tp1} \\ \hat{Y}_{5Tp1} \\ \hat{Z}_{5Tp1} \\ \vdots \\ \hat{X}_{5Tp4} \\ \hat{Y}_{5Tp4} \\ \hat{Z}_{5Tp4} \end{bmatrix}$$

Dimana desain matriks G dimana matriks G disusun dengan jumlah yang sama dengan banyaknya observasi, baris dan kolom dalam matriks G mewakili 3 translasi, 3 rotasi dan 1 vektor skala. Matriks q ialah matriks yang sama dengan matriks G (Leick and van Gelder, 1975) dan matriks *minimum constrains* dalam E terdiri dari baris G yang sesuai dengan parameter trf dimana koordinat dan kecepatan secara bersamaan harus digabung dan juga diperluas untuk kesamaan yang bervariasi dengan model transformasi (altamimi et al, 2002a, b) hal yang sama juga dikemukakan oleh (soler, marshall, 2003) sebagai berikut:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

## 2.8 Analisis Gangguan dalam Jaringan *Minimum Constraints* dalam *free network adjustment*

Dalam proses analisis gangguan dalam jaringan *minimum constraints* memiliki beberapa tahapan, sebagai berikut :

1. Untuk mendeteksi karakter komponen pada jaringan pengukuran yang tidak bisa diprediksi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d\hat{X} = E^t(HE^t)^{-1}dc \quad 2.27$$

Keterangan :

$d\hat{X}$  = Komponen vektor c

$dc$  = Jarak semu

$(HE^t)^{-1}$  = Invers matriks terkendala

$$d\hat{X}^{mxn} = \begin{bmatrix} \Delta X_{TP1} \\ \Delta Y_{TP1} \\ \Delta Z_{TP1} \\ \vdots \\ \Delta X_{TP4} \\ \Delta Y_{TP4} \\ \Delta Z_{TP4} \end{bmatrix}$$

$$d\theta = (HE^t)^{-1}dc \quad 2.28$$

Keterangan :

$d\theta$  = komponen vektor perubahan

$(HE^t)^{-1}$  = Invers matriks terkendala

$dc$  = Komponen vektor c atau

$$d\theta^{mxn} = \begin{bmatrix} d\theta_{X_{Tp1}} \\ d\theta_{Y_{Tp1}} \\ d\theta_{Z_{Tp1}} \\ \vdots \\ d\theta_{X_{Tp4}} \\ d\theta_{Y_{Tp4}} \\ d\theta_{Z_{Tp4}} \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.27) dan (2.28) untuk mendeteksi gangguan dalam *minimum constraints* yang diakibatkan oleh parameter trf yang tidak dapat diestimasi

dalam jaring pengukuran yang disesuaikan dalam *least square adjusment* (C. Kotsakis, 2012).

2. Untuk mendeteksi karakter pada jaring pengukuran yang dapat di prediksi memiliki beberapa tahapan sebagai berikut:

a) Dalam tahapan *adjustment* observasi menggunakan vektor pengamatan yang disesuaikan dalam matriks J koefisien parameter dijadikan acuan terkendala yang nantinya dikalikan dengan persamaan (2.27) untuk mendapatkan gangguan berbasis koordinat dari pengamatan yang telah disesuaikan (Kotsakis, 2012) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d\hat{Y} = J \cdot d\hat{X} \quad 2.29$$

*Keterangan :*

$J$  = Matriks koefisien parameter

$d\hat{X}$  = Komponen vektor c

$d\hat{Y}$  = Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan

$$d\hat{Y}^{m \times n} = \begin{bmatrix} \Delta X_{TP1} \\ \Delta Y_{TP1} \\ \Delta Z_{TP1} \\ \vdots \\ \Delta X_{TP4} \\ \Delta Y_{TP4} \\ \Delta Z_{TP4} \end{bmatrix}$$

b) Untuk menentukan nilai elemen kesalahan linierisasi dari tahapan perhitungan yang dapat dideteksi dengan menggunakan *free network adjusment* (C.Kotsakis, 2012). Persamaan tersebut sebagai berikut:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2} d\theta^t E Q_i E^t d\theta \quad 2.30$$

*Keterangan :*

$\varepsilon_i$  = Elemen kesalahan linierisasi

$d\theta^t$  = Transpose komponen vektor perubahan

$Q_i$  = Matriks kovaktor parameter terkendala

$E$  = Matriks terkendala dalam type E

$E^t$  = Transpose matriks terkendala dalam type E

c) Untuk mendeteksi stabilisasi matriks yang juga mewakili stabilisasi pada jaring yang diakibatkan oleh kendala minimum (C.kotsakis, 2012). Dimana

untuk setiap vektor atau *baseline* pengukuran yang tidak sama dengan 0 berarti tidak stabil. Dan untuk matriks B sama dengan matriks  $(HE^t)^{-1}H$  memberikan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\theta_{\hat{X}-X^{ext}} &= (HE^t)^{-1}H(\hat{X}_5 - X_o) - c \\ &= B(\hat{X} - X_o) - c\theta \\ &= 0\end{aligned}\tag{2.31}$$

*Keterangan :*

$B = (HE^t)^{-1} =$  Invers matriks terkendala

$c\theta =$  Jarak semu

$\hat{X}_5 =$  Matriks estimasi dalam transformasi s setelah ditambah dengan matriks G (3 translasi, 3 rotasi dan 1 skala).

$X_o =$  Matriks pendekatan

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi penelitian

Bendungan manikin ini terletak di Desa Kuaklalo dan bokong di Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pembangunan bendungan ini dibawah oleh Kementrian PUPR yaitu Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II merupakan wakil pemerintah pusat di daerah untuk melaksanakan pengelolaan SDA antara lain meliputi Konservasi SDA, Pendayagunaan SDA, Pengendalian daya rusak air di wilayah sungai yang menjadi kewenangan pemerintah di provinsi NTT. Untuk mengetahui lokasi bisa dilihat gambar dibawah:



Gambar 3.1 Area Capping Beam Bendungan Manikin

### 3.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian:

Dalam pelaksanaan penelitian tersebut, alat dan bahan yang akan digunakan terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak ialah sebagai berikut:

1. Perangkat Keras(Hardware)

Perangkat keras yang digunakan adalah:

- a. Laptop Asus vivobook X442U *Inter core i5 Dual VGA Nvidia Geforce*
- b. GPS Geodetic Stonex S800A
- c. HP Android Realme Narzo 30A

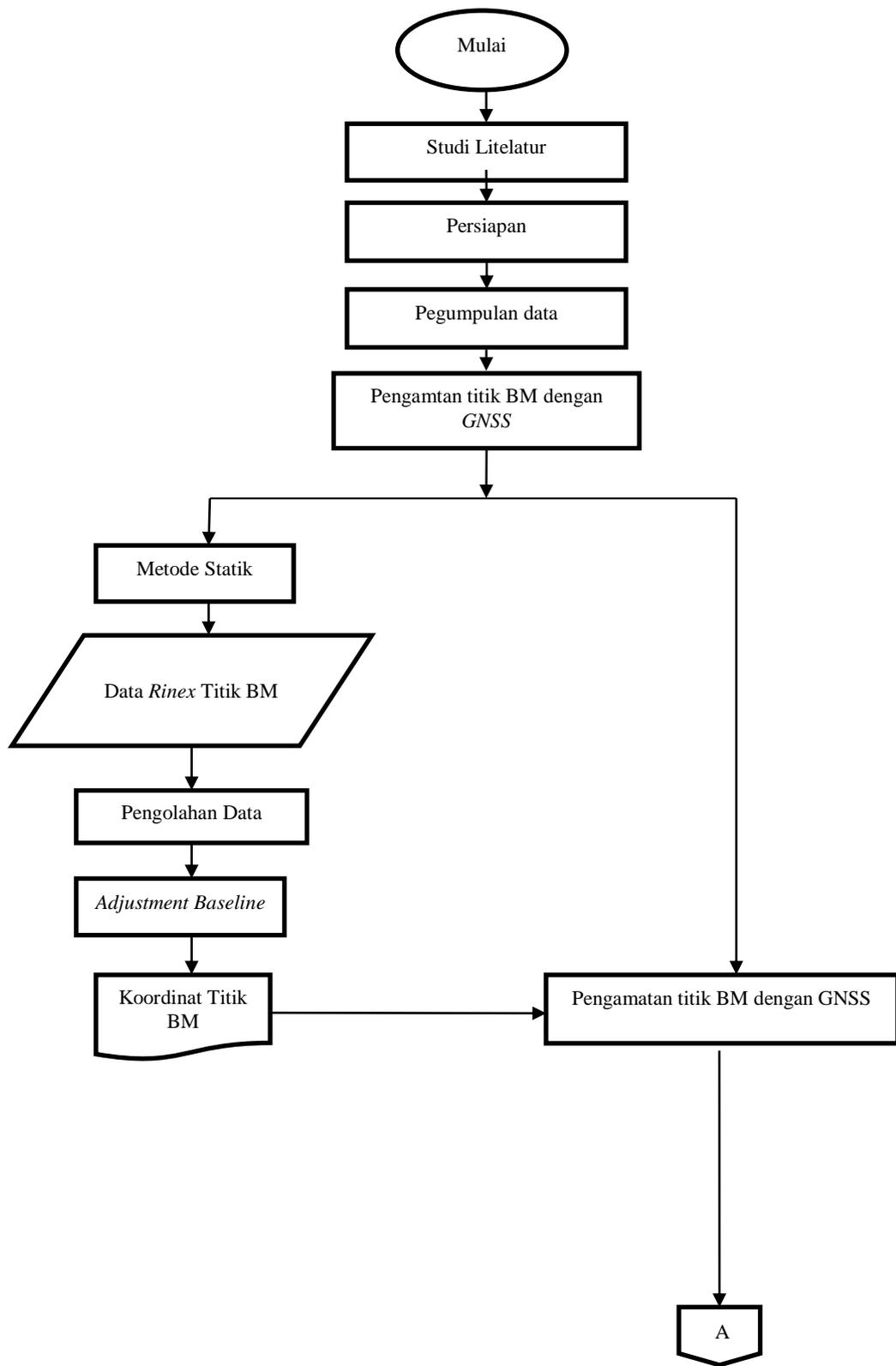
- d. HP Android Samsung J1ace
  - e. Triba, Dynabolt 10mm, Baut 24, Bor listrik.
  - f. Stik GPS
  - g. Alat Tulis
2. Perangkat Lunak(Software)
- a. *Software TEQC*
  - b. *Trimble Bussines Center 5.20*
  - c. *Microsoft Excel 2016*
  - d. *Microsoft Word 2016*

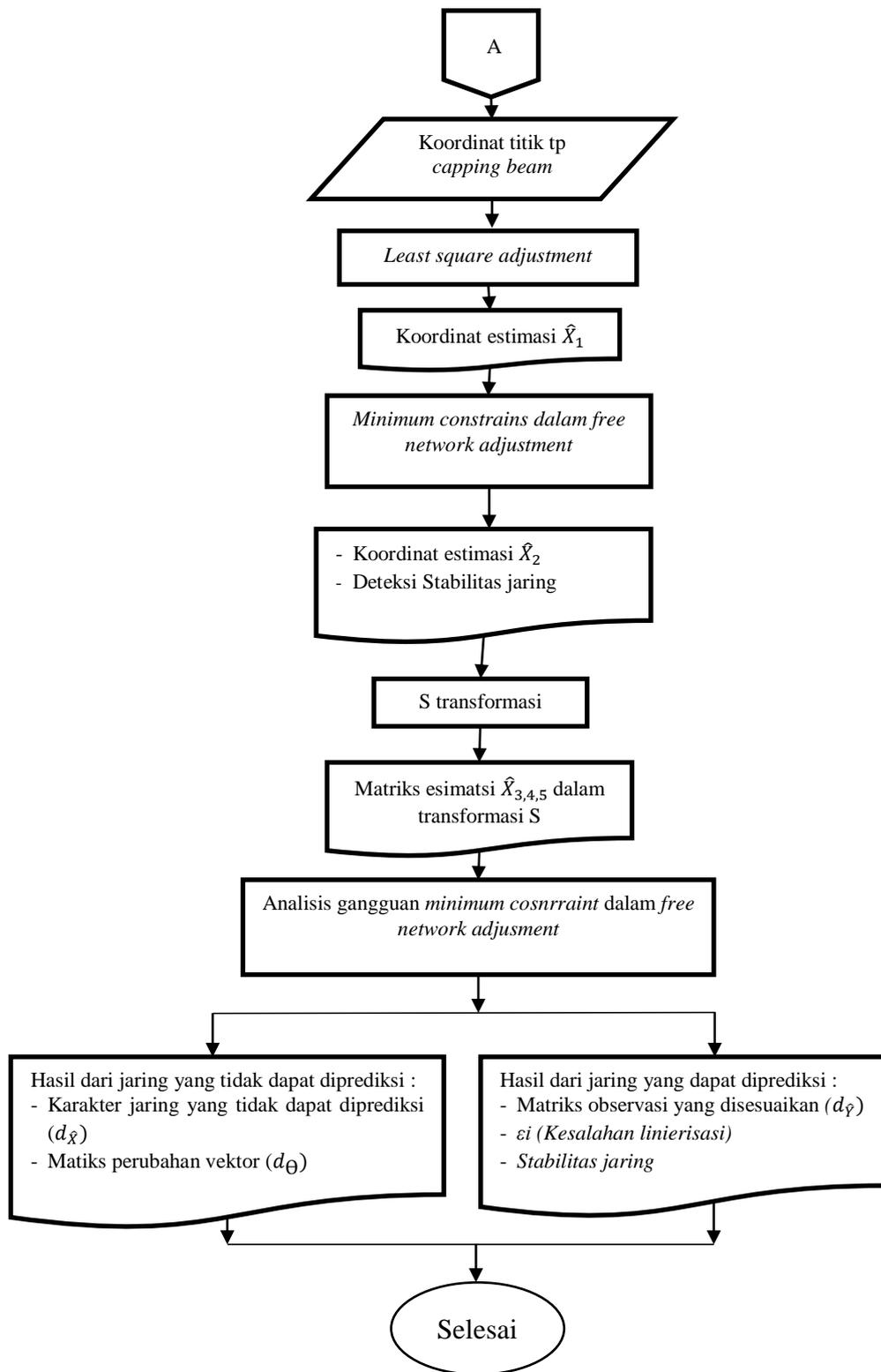
### **3.2.2 Bahan Penelitian**

- a. Data Rinex Stasiun CORS Kota Kupang
- b. Koordinat titik pantau yang diambil dengan pengamatan static menggunakan GNSS
- c. Koordinat titik pengamatan capping beam yang diambil dengan GNSS

### **3.3. Diagram alir**

Dalam proses penelitian haruslah dibuat suatu kerangka pekerjaan yang sistematis agar mudah dipahami dan mempermudah dalam penelitian. Adapun langkah atau diagram alir penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :





## Keterangan Diagram Alir

### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mencari sumber-sumber teori atau materi-materi terkait yang ada didalam judul penelitian. Oleh karena itu penulis mengumpulkan mencari materi dari buku-buku, jurnal-jurnal, internet dan sebagainya

### 2. Persiapan Pengamatan

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah Persiapan lapangan dan persiapan administrasi. Persiapan lapangan adalah persiapan yang meliputi persiapan tim pengukuran dan persiapan alat-alat yang akan digunakan dalam pengukuran dan pemasangan BM titik pantau. Persiapan administrasi adalah persiapan yang berkaitan dengan surat-surat tugas dan perijinan melakukan pengukuran sesuai dengan lokasi pengukuran tersebut.

#### a. Perizinan Penelitian

Dalam melakukan pengamatan ini dilakukan persiapan lapangan dan melakukan perizinan penelitian. Lembaga terkait dalam penelitian ini untuk melakukan perizinan ialah Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu, Pemerintah Kabupaten Kecamatan Taebenu, dan Pemerintah Desa Baumata Timur, Desa Oeletsala, Desa Bokong, Desa Kuaklalo, Desa Taebenu.

#### b. Pembuatan Titik Pantau BM1, BM2, BM3 dan Titik Pengamatan



Gambar 3.2 Titik Pantau BM1 dan BM2



Gambar 3.3 Titik Pantau BM3



Gambar 3.4 Titik Pengamatan *Capping Beam*

### 3. Pengamatan titik pantau dengan GNSS

#### a. Pengamatan Titik Pantau

Pada tahapan ini pengambilan data titik pantau ini dilakukan 2 kali pengamatan titik pantau. Pengamatan titik pantau menggunakan metode statik yang dimana titik pantau ini di ikat dengan stasiun cors terdekat setelah itu hasil dari pengamatan titik pantau ini diolah dengan mengecek kualitas data dan adjustment baseline. Setelah itu dilakukan uji kestabilan titik menggunakan uji global test *congruency test* tahapan uji global dinyatakan titik stabil.

#### b. Pengamatan Deformasi *Capping Beam* dengan GNSS

Pada tahapan ini Pengambilan data di titik pengamatan menggunakan GNSS. Dalam pengambilan datanya GNSS berdiri di setiap titik *Capping Beam* yang telah dibuat.

#### 4. Pengolahan Data Rinex

Pada pengolahan data rinex, merupakan tahapan yang dilakukan agar mendapatkan nilai fix dari pengukuran baik nilai *easting*, *northing* dan nilai elevasi. Pengolahan data static ini menggunakan *Trimble Business Center* disoftware TBC. Data yang dihasilkan oleh pengukuran static ini ialah data *E,N,h* dengan format rinex.

#### 5. Baseline Adjustment

Dalam tahapan ini, baseline adjustment untuk meminimalisir kesalahan acak pada koordinat pengukuran dengan metode kuadrat terkecil (*Least square adjustment*) untuk memungkinkan presisi dan akurasi posisi dan ketinggian yang disesuaikan, serta pengamatan yang didapat memakai *software Columbus*

6. *Least square Adjustment* : Pada tahapan ini *least square adjustment* dilakukan karena setiap pengukuran diingapi kesalahan acak. Maka dari itu dilakukannya tahapan *least square adjustment* ini untuk mendapatkan matriks bobot ( $W$ ) untuk menghitung di tahapan *minimum inner constraints*.

7. *Free Network adjustment* : Pada tahapan ini *free network adjustment* dilakukan untuk proses penyesuaian jaringan, stabilitas jaring atau perubahan posisinya dapat menghasilkan pengaruh kestabilan dalam jaring.

8. *Minimum constrains* : Pada tahapan ini untuk menggabungkan jumlah parameter minimal yang diperlukan untuk mendefinisikan sistem referensial. Dengan demikian, geometri eksternal tidak dipertimbangkan dalam prosedur penyesuaian, model ini disebut model kendala minimum.

9. Transformasi s pada tahapan ini digunakan untuk menghubungkan kendala dalam *minimum constrains* kedalam persamaan.

10. Analisis gangguan *minimum constrains* dalam penyesuaian jaring pada tahapan ini digunakan untuk mendeteksi efek dari penyesuaian jaring menggunakan *minimum constrains* dalam analisisnya dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu yang dapat diprediksi dan yang tidak dapat diprediksi.

11. Efek karakteristik pada jaring yang tidak dapat diprediksi digunakan

untuk mendeteksi komponen vektor pengantar parameter dan untuk mendeteksi vektor perubahan parameter.

12. Efek karakteristik pada jaring yang dapat diprediksi dibagi menjadi 3 (tiga) tahapan yaitu adjustment observasi, kesalahan linierisasi, stabilitas matriks yang mewakili stabilitas jaring.

### 3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Pengumpulan Data

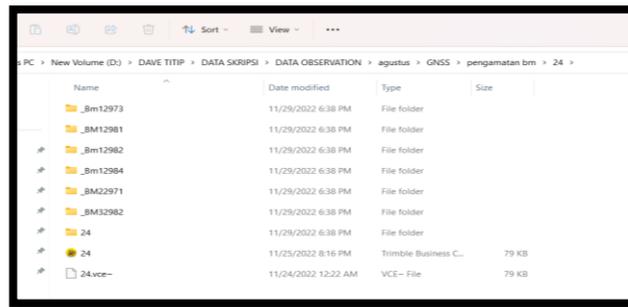
Pada tahapan ini pengumpulan data dibagi menjadi 2 tahap yaitu pengamatan titik pantau menggunakan GNSS dan pengambilan titik pengamatan di area *capping beam* menggunakan GNSS. Pengumpulan data dilakukan selama 3 bulan: Agustus, September, dan Oktober.

- a. Pada tahapan pertama dilakukan dengan meninjau lokasi pengamatan deformasi untuk menentukan tempat BM di pasang.
- b. Selanjutnya dilakukan pengamatan titik pantau BM1, BM2, dan BM3 menggunakan GNSS Stonex S800A pengamatan titik pantau dilakukan 2 kali pengambilan data dalam setiap bulannya.



Gambar 3.6 Titik Pantau BM

c. Data hasil pengamatan BM



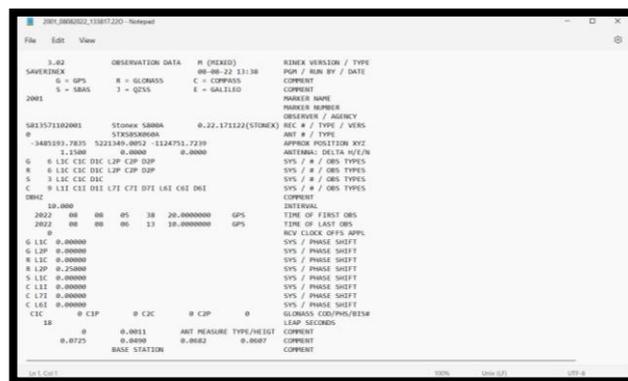
Gambar 3.7 Data Hasil Pengamatan BM

- d. Setelah data pengamatan titik pantau dinyatakan stabil kemudian melakukan pengamatan kembali ke titik pengamatan *capping beam* yang dilakukan dari titik pantau yang telah diikat dari stasiun cors terdekat menggunakan GNSS.



Gambar 3.8 Pengambilan Data Menggunakan GNSS

- e. Data yang didapat pada *monitoring capping beam* yang didapat berformat data rinex



Gambar 3.9 Hasil Data Monitoring Capping Beam

- f. Data observasi yang di dapat untuk diolah yaitu komponen pengantar  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  sebagai berikut:

| OBS             | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ |
|-----------------|------------|------------|------------|
| <b>BM1-TP11</b> | 143,47     | 86,865     | -31,802    |
| <b>BM1-TP12</b> | 128,67     | 81,128     | -13,333    |
| <b>BM1-TP13</b> | 88,40      | 58,547     | 7,173      |
| <b>BM1-TP14</b> | 68,59      | 45,137     | 5,897      |
| <b>BM1-TP15</b> | 143,97     | 73,818     | -37,825    |
| <b>BM1-TP16</b> | 71,60      | 40,192     | 1,818      |
| <b>BM2-TP11</b> | -0,77      | 59,416     | 116,075    |
| <b>BM2-TP12</b> | -15,54     | 53,633     | 134,566    |
| <b>BM2-TP13</b> | -55,84     | 31,137     | 155,072    |
| <b>BM2-TP14</b> | -75,64     | 17,726     | 153,799    |
| <b>BM2-TP15</b> | -0,29      | 46,394     | 110,077    |
| <b>BM2-TP16</b> | -72,62     | 12,756     | 149,713    |
| <b>BM3-TP11</b> | -7,71      | 37,505     | 85,714     |
| <b>BM3-TP12</b> | -22,48     | 31,711     | 104,192    |
| <b>BM3-TP13</b> | -62,76     | 9,168      | 124,710    |
| <b>BM3-TP14</b> | -82,56     | -4,245     | 123,420    |
| <b>BM3-TP15</b> | -7,19      | 24,438     | 79,706     |
| <b>BM3-TP16</b> | -79,52     | -9,206     | 119,367    |

### 3.4.2 Pengolahan Data

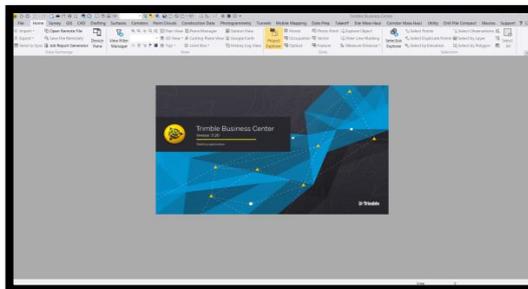
Pengolahan data pertama dimulai menggunakan *software trimble bussines center 5.20*

#### 3.4.2.1 Pengolahan Titik Pantau

- a. Pengolahan Titik Pantau

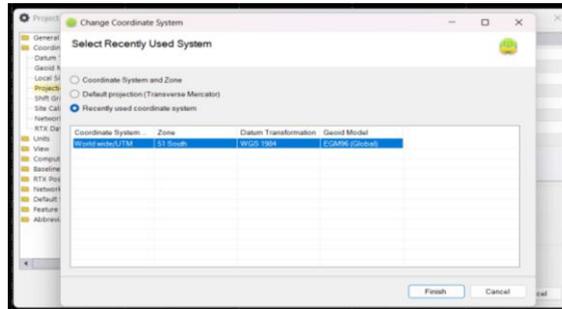
Proses pengolahan titik pantau diolah pada *software trimble bussines center 5.20* Pengolahan ini untuk mendapatkan koordinat pasti yang telah memenuhi syarat-syarat geometri.

- b. Langkah pertama *membuka software trimble bussines center 5.20*



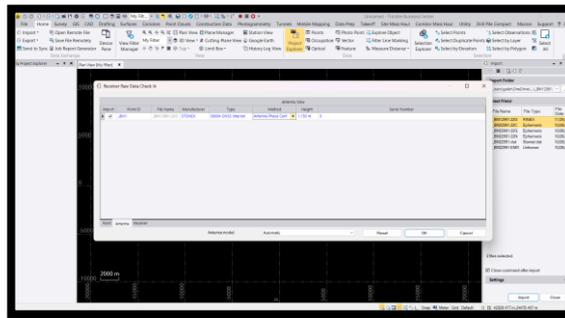
Gambar 3.10 Aplikasi Trimble Bussines Center

c. Mengatur system koordinat



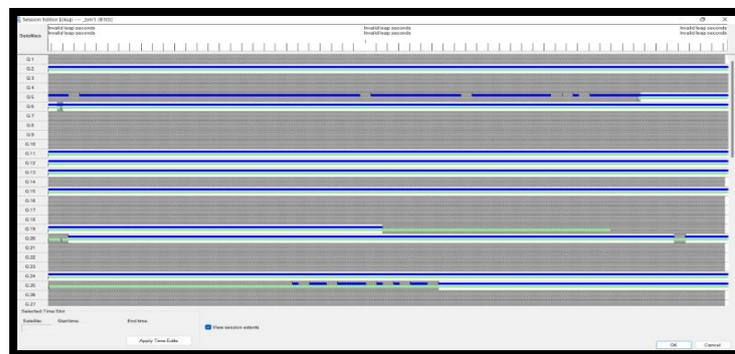
Gambar 3.11 Mengatur system koordinat UTM/ WGS 84 Zona 51s

d. Mengimport data rinex



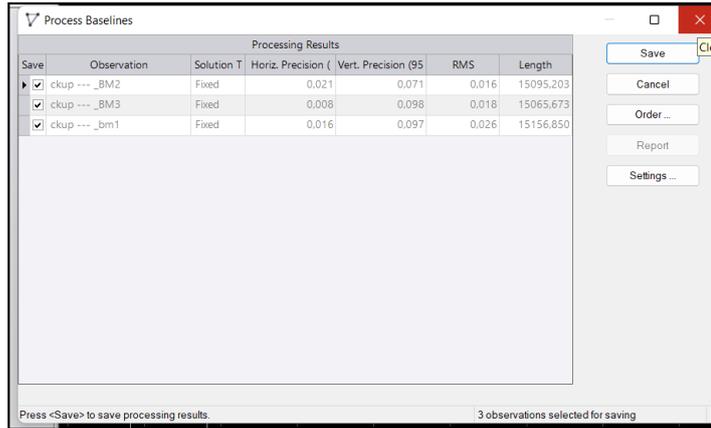
Gambar 3.12 Tampilan mengimport data rinex

e. Setelah mengimport data kemudian section editor baseline > Add titik control > Proses baseline.



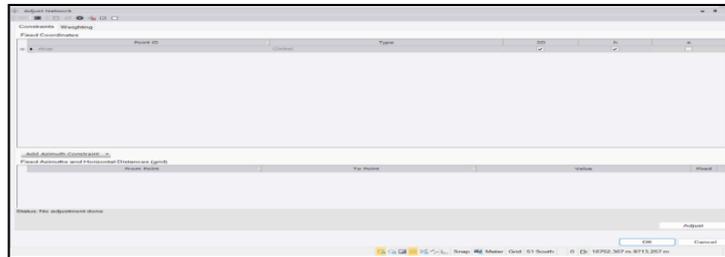
Gambar 3.13 Tampilan section editor baseline

f. Mengatur proses baseline, akan muncul processing result dari semua baseline yang di proses.



Gambar 3.14 Proses baseline

- g. Kemudian yang dilakukan ialah proses *adjustment network* > hasil *adjustment network*.



Gambar 3.15 Tampilan adjustment network

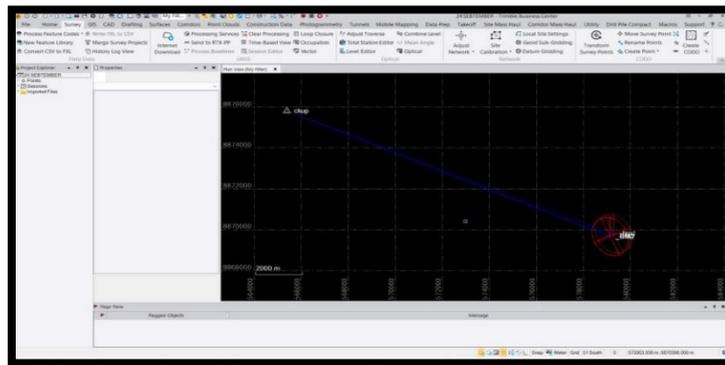
| Project file data |                             |  |  | Coordinate System |                |  |  |
|-------------------|-----------------------------|--|--|-------------------|----------------|--|--|
| Name:             | C:\dave\september FIXX.vce  |  |  | Name:             | World wide/UTM |  |  |
| Size:             | 141 KB                      |  |  | Datum:            | WGS 1984       |  |  |
| Modified:         | 23/01/2023 20:18:43 (UTC:7) |  |  | Zone:             | 51 South       |  |  |
| Time zone:        | SE Asia Standard Time       |  |  | Geoid:            | EGM96 (Global) |  |  |
| Reference number: |                             |  |  | Vertical datum:   |                |  |  |
| Description:      |                             |  |  | Calibrated site:  |                |  |  |
| Comment 1:        |                             |  |  |                   |                |  |  |
| Comment 2:        |                             |  |  |                   |                |  |  |
| Comment 3:        |                             |  |  |                   |                |  |  |

| Baseline Processing Report |      |      |               |                  |                  |              |                         |                 |
|----------------------------|------|------|---------------|------------------|------------------|--------------|-------------------------|-----------------|
| Processing Summary         |      |      |               |                  |                  |              |                         |                 |
| Observation                | From | To   | Solution Type | H. Prec. (Meter) | V. Prec. (Meter) | Geodetic Az. | Ellipsoid Dist. (Meter) | ΔHeight (Meter) |
| _bm1 ---_bm2 (B59)         | _bm1 | _bm2 | Fixed         | 0,003            | 0,022            | 220°58'26"   | 206,213                 | -29,496         |
| _BM3 ---_bm2 (B60)         | _BM3 | _bm2 | Fixed         | 0,002            | 0,004            | 151°02'54"   | 37,082                  | -8,797          |
| _BM3 ---_BM1 (B61)         | _BM3 | BM1  | Fixed         | 0,004            | 0,019            | 51°10'25"    | 196,595                 | 21,304          |

Gambar 3.16 Adjustment network

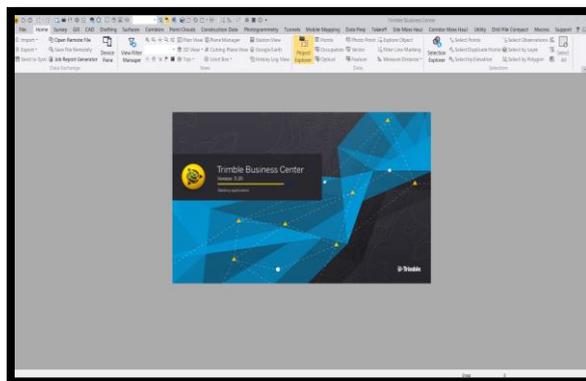
h. Hasil Ellipsis error



Gambar 3.17 Ellipsis error

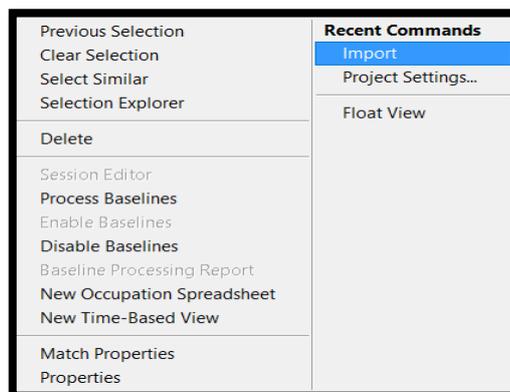
i. Pengolahan titik pengamatan *Capping beam*

Pengolahan titik pengamatan capping beam ini menggunakan aplikasi *Trimble Business Center 5.20*



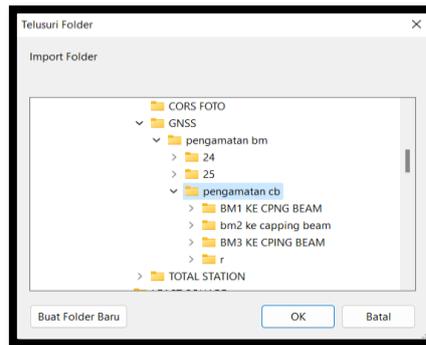
Gambar 3.18 Trimble Bussines Center

j. Mengimport data rinex



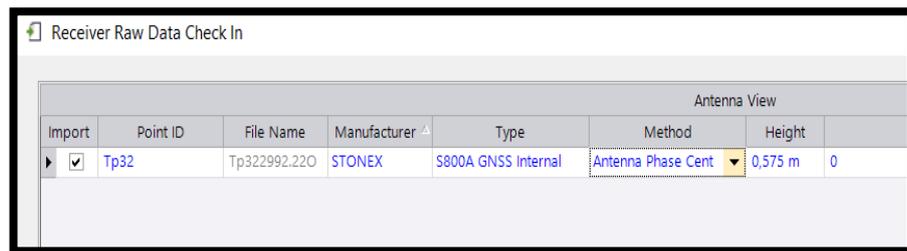
Gambar 3.19 Mengimport data

k. Memilih data rinex



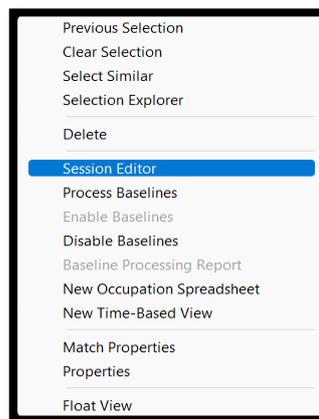
Gambar 3.20 Data rinex

l. Mengecek raw data alat,



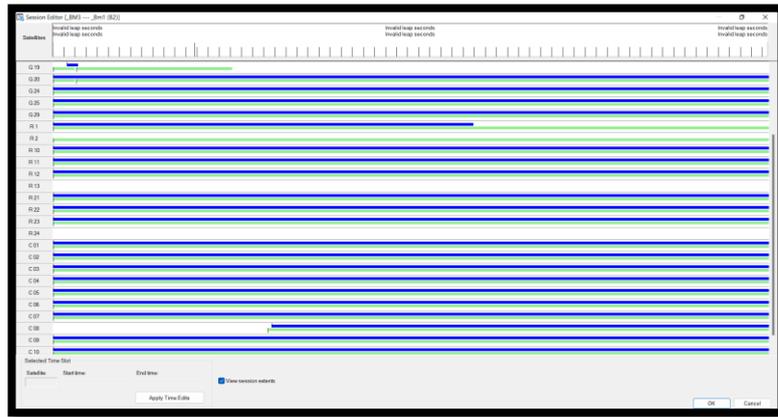
Gambar 3.21 Raw data check

m. Setelah itu masuk ke *Session Editor* untuk menghapus baseline yang tidak terrecord dengan baik



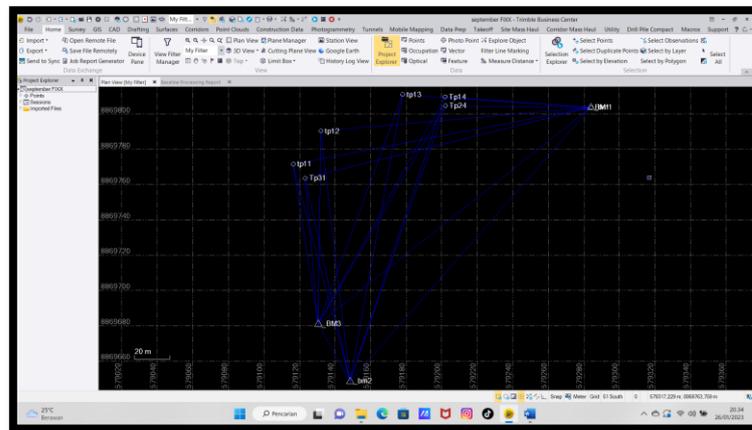
Gambar 3.22 Session editor

n. Tampilan Session Editor

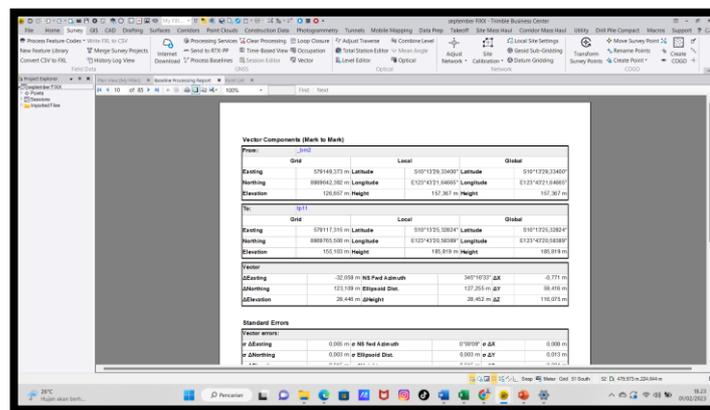


Gambar 3.23 Session Editor

- o. Tampilan Pengolahan Hasil Data Baseline dan hasil Baseline Processing Report



Gambar 3.24 Data Baseline



Gambar 2.25 Baseline Processing Report

### 3.4.2.2 Pengolahan Titik Tp

Proses pengolahan titik pengamatan ini menggunakan hasil pengukuran menggunakan *Total station* dan kemudian di olah di *Microsoft excel* untuk menghitung *least square* untuk mendapatkan matriks bobot kemudian dilanjutkan dengan menghitung dengan metode *minimum inner consterein* dari data hasil pengukuran titik pantau.

1. Membuka *Microsoft excel* kemudian masukan data hasil pengukuran Setelah itu mulai dengan membuat tahapan linierisasi semua titik Tp yang di ikat dari BM untuk membuat matriks A untuk mendesain matriks A dapat dilihat pada persamaan 2.1 sampai dengan 2.5 hasil dari desain matriks A terlampir.

$$A^{54 \times 18} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1^n & 0 & 0 & 1^n & 0 & 0 & 1^n \end{bmatrix}$$

2. Langkah selanjutnya menghitung nilai matriks L pada persamaan, nilai matriks L dapat ditulis sebagai berikut :

$$L^{54 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485189,86 \\ 5221403,211 \\ -1124633,567 \\ \vdots \\ -3485256,674 \\ 5221356,538 \\ -1124594,916 \end{bmatrix}$$

3. Setelah diperoleh nilai matriks A dan L maka selanjutnya dapat dihitung nilai matriks  $\hat{X}$  dengan persamaan sebagai berikut :

$$\hat{X}^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485189,86 \\ 5221403,226 \\ -1124633,572 \\ \vdots \\ -3485260,039 \\ 5221356,545 \\ -1124598,269 \end{bmatrix}$$

4. Menghitung nilai matriks residual dari ukuran menggunakan pada persamaan sebagai berikut :

$$V^{54 \times 1} \begin{bmatrix} 0,000 \\ -0,015 \\ 0,0053 \\ \vdots \\ 3,365 \\ -0,0066 \\ 3,3526 \end{bmatrix}$$

5. Nilai residual tersebut dikoreksikan kepada nilai ukuran sehingga diperoleh nilai ukuran yang sebenarnya atau  $\hat{L}$  sebagai berikut :

$$\hat{L}^{54 \times 1} \begin{bmatrix} -3485189,86 \\ 5221403,20 \\ -1124633,56 \\ \vdots \\ -3485256,67 \\ 5221356,54 \\ -1124594,92 \end{bmatrix}$$

6. Selanjutnya menghitung matriks ketelitian parameter  $Q_{LL}$ , ketelitian ukuran  $\Sigma_{LL}$  dan bobot pengamatan ( $P$  atau  $\Sigma_{LL}$ ) dengan cara pada persamaan 2.5 sampai dengan 2.7 hasil terlampir.

$$\Sigma_{XX}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 0,6770 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6770 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,6770 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0,6770 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6770 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6770 \end{bmatrix}$$

$$Q_{LL}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 0,333 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,333 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,333 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0,333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,333 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,333 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{LL}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 0,6770 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6770 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,6770 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0,6770 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6770 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,6770 \end{bmatrix}$$

7. Setelah dilakukan tahapan *least square* pada persamaan dan di dapatkan koordinat estimasi dilanjutkan dengan perhitungan least square jarak berbasis koordinat dari koordinat yang telah di estimasi pada tahapan diatas.

8. Membuka *Microsoft excel* kemudian masukan data hasil pengukuran Setelah itu mulai dengan membuat tahapan linierisasi semua titik Tp yang di ikat dari BM untuk membuat matriks J untuk mendesain matriks J dapat dilihat pada persamaan 2.9 hasil dari desain matriks J terlampir.

$$J^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 0,732 & 0,438 & -0160 & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & 0,630 & 0,354 & 0,016 \\ 0,0044 & 0,34 & 0,66 & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & -0,808 & 0,142 & 1,666 \\ -0,067 & 0,325 & 0,742 & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & -2,595 & -0,300 & 3,896 \end{bmatrix}$$

9. Setelah Langkah linierisasi di telah dibuat menjadi matriks desain A Langkah selanjutnya menentukan matriks observasi pengamatan L dapat dilihat pada persamaan 2.8 hasilnya terlampir.

$$L^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0,110 \\ -0,212 \\ -0,020 \\ \dots \\ -0,132 \\ -0,186 \\ -0,136 \end{bmatrix}$$

10. Setelah diperoleh matriks J dan  $\hat{L}$  kemudian dapat menghitung matriks estimasi parameter  $\hat{X}_1$  dapat dilihat pada perssamaan 2.9 hasilnya terlampir.

$$\hat{X}_1^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485188,86 \\ 5221401,58 \\ -1124632 \\ \vdots \\ -3485189,16 \\ 5221389,55 \\ -1124639,54 \end{bmatrix}$$

11. Hasil dari  $(J^t \cdot J)^{-1}$  dalam persamaan ialah matriks  $Q_{xx}$  atau matriks kovaktor dapat dilihat pada persamaan 2.9 hasilnya terlampir.

$$Q_{XX}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 10088,11 & -14032,08 & 7138,51 & & 0 & 0 & 0 \\ -14032,08 & 19521,82 & -9930,83 & & 0 & 0 & 0 \\ 7138,51 & -9930,83 & 5052,89 & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 50,627 & -79,912 & 28,149 \\ 0 & 0 & 0 & & -79,912 & 131,465 & -44,156 \\ 0 & 0 & 0 & & 28,149 & -44,156 & 15,721 \end{bmatrix}$$

12. Kemudian setelah menghitung matriks estimasi  $\hat{X}_1$  selanjutnya dapat menghitung standar deviasi dengan cara pada persamaan 2.11 hasilnya terlampir.

$$V^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.00000000000000267 \\ 0.00000000000000026 \\ -0.00000000000000017 \\ \dots \\ 0.00000000000000000 \\ -0.00000000000000009 \\ 0.00000000000000013 \end{bmatrix}$$

13. Selanjutnya menghitung matriks ketelitian parameter  $Q_{LL}$ , ketelitian ukuran  $\Sigma_{LL}$  dan bobot pengamatan ( $P$  atau  $\Sigma_{LL}$ ) dengan cara pada persamaan 2.12 sampai dengan 2.14 hasil terlampir.

$$\Sigma_{XX}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} -3.223 & 4.483 & -2.281 & 0 & 0 & 0 \\ 4.483 & -6.238 & 3.173 & 0 & 0 & 0 \\ -2.281 & 3.173 & -1.614 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -1.617 & 2.553 & -8.995 \\ 0 & 0 & 0 & & 2.553 & -4.201 & 1.411 \\ 0 & 0 & 0 & & -8.995 & 1.411 & -5.023 \end{bmatrix}$$

$$Q_{LL}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.000 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1.000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & 0 & 1.000 \\ 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_{LL}^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} -3.195 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3.195 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3.195 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -3.195 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & 0 & -3.195 \\ 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & -3.195 \end{bmatrix}$$

14. Setelah mendapatkan matriks bobot selanjutnya masuk dalam proses perhitungan *free network adjustment* dengan persamaan awal pada persamaan 2.15 dan 2.16

15. Kemudian setelah mengikuti persamaan 2.15 dan 2.16 selanjutnya masuk dalam tahapan penentuan solusi tunggal dari persamaan 2.17 membutuhkan seperangkat kondisi eksternal untuk menentukan kerangka koordinat dengan sehubungan dengan posisi yang disesuaikan dari stasiun jaringan harus dihitung. Dalam *minimum constrains* persamaan awal sama dengan penentuan nilai N, model persamaan 2.15 sama dengan persamaan 2.16

dengan jumlah matriks sama N, persamaan-persamaan ini merupakan apa yang disebut dengan kendala minimum.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} X & - & X_0 \\ Y & - & Y_0 \\ Z & - & Z_0 \end{bmatrix}$$

16. Untuk mencari kesalahan yang signifikan pada jaring pengukuran dan untuk mendapatkan informasi (minimum) yang diperlukan dalam mengetahui ketidakstabilan jaring pengukuran yang dapat mengganggu kerangka pengukuran dengan persamaan 2.18 hasilnya terlampir.

$$N + H^T \cdot W \cdot (X - X_0)^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3.073 \\ 1.557 \\ -3.825 \\ \vdots \\ -1.390 \\ 8.299 \\ 2.592 \end{bmatrix} = U + (H^T \cdot W \cdot C)^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.111 \\ 0.356 \\ -0.013 \\ \vdots \\ -0.025 \\ 0.115 \\ -0.006 \end{bmatrix}$$

17. Jika ada gangguan signifikan dalam persamaan 2.18 maka ditambah perhitungan pada persamaan 2.19 untuk memperkuat asumsi ketidakstabilan jaring pengukuran hasil keseluruhan terlampir.

$$(N + H^t \cdot W \cdot H)^{-1} H^t \cdot W^{18 \times 18} = \begin{bmatrix} 0.677 & 0 & 0 & 9.040 & 0 & 0 \\ -0.073 & 0 & 0 & -1.142 & 0 & 0 \\ 0.098 & 0 & 0 & 1.316 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 2.095 & 0 & \ddots & 0.076 \\ 0 & 0 & -1.451 & 0 & 0 & -0.035 \\ 0 & 0 & 1.326 & 0 & 0 & 0.049 \end{bmatrix}$$

18. Untuk menentukan nilai dalam *minimum constrains* dengan besik matematika untuk mendefinisikan persamaan 2.18 dengan persamaan 2.20 hasil keseluruhan terlampir.

$$\hat{X}_2^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485188.204 \\ 5221402.317 \\ -1124632.567 \\ \vdots \\ -3485188.975 \\ 5221390.334 \\ -1124639.487 \end{bmatrix}$$

19. Kemudian setelah menghitung matriks estimasi kemudian dihitung transformasi s digunakan menghubungkan *minimum constrains* kedalam persamaan dengan menghitung ( $\theta$ ) vektor derajat kebebasan persamaan 2.24 hasil keseluruhan terlampir.

$$\theta^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.108 \\ -0,075 \\ -0.046 \\ \vdots \\ -3.474 \\ -0478 \\ -61.934 \end{bmatrix}$$

20. Setelah mendapatkan ( $\theta$ ) vektor derajat kebebasan dilanjutkan dengan menghitung matriks estimasi ( $\hat{X}_3$ ) untuk menghubungkan koordinat dengan matriks terkendala ( $E^T$ ) dan ( $\theta$ ) vektor derajat keebasan persamaan 2.23

$$\hat{X}_3^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485188.312 \\ 5221402.242 \\ -1124632.614 \\ \vdots \\ -3485192.449 \\ 5221389.856 \\ -1124701.421 \end{bmatrix}$$

21. Setelah mendapatkan matriks estimasi ( $\hat{X}_3$ ) kemudian dilanjutkan menghitung matriks estimasi ( $\hat{X}_4^{ext}$ ) untuk menghubungkan jarak semu (c), matriks terkendala ( $E^t$ ) dan solusi bebas bersih dari jarak semu ( $H_{X_o}$ ) kedalam koordinat persamaan 2.25.

$$\hat{X}_4^{ext^{18 \times 1}} = \begin{bmatrix} -3485188.86 \\ 5221401.58 \\ -1124632.92 \\ \vdots \\ -3485189.16 \\ 5221389.55 \\ -1124639.54 \end{bmatrix}$$

22. Kemudian menentukan matriks estimasi  $\hat{X}_5$  untuk menentukan Perbedaan antar matriks estimasi yang tidak dapat diprediksi akibat kondisi datum yang tidak stabil yang dipengaruhi oleh kerangka yang tidak stabil persamaan 2.26

$$\hat{X}_5^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -3485188.867 \\ 5221404.259 \\ -1124632.583 \\ \vdots \\ -3485188.357 \\ 5221391.178 \\ -1124638.582 \end{bmatrix}$$

23. Setelah tahapan transformasi s dihitung kemudian dilanjutkan dengan menghitung efek gangguan dalam jaring pengukuran yang tidak dapat diperkirakan dari persamaan 2.27 untuk menentukan komponen vektor observasi yang tidak dapat diprediksi dan persamaan 2.28 hasilnya terlampir.

$$d\hat{X}^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.032 \\ -0.187 \\ 0.041 \\ \vdots \\ 0.085 \\ -0.169 \\ 0.045 \end{bmatrix}$$

$$d\theta^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.107 \\ -0.075 \\ -0.046 \\ \vdots \\ -3.474 \\ -0.478 \\ -61.933 \end{bmatrix}$$

24. Setelah menghitung efek gangguan dalam jaringan pengukuran yang tidak dapat diperkirakan kemudian menentukan efek gangguan yang dapat diprediksi hasilnya terlampir. Persamaan 2.29 *adjustment* observasi menggunakan vektor pengamatan yang disesuaikan dalam matriks J kofesien parameter dijadikan acuan terkendala persamaan 2.30 untuk menentukan kesalahan linierisasi persamaan 2.31 untuk menentukan kestabilan jaringan pengukuran hasilnya terlampir.

$$dY^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -0.112 \\ -0.092 \\ -0.088 \\ \vdots \\ 0.004 \\ -0.019 \\ 0.007 \end{bmatrix}$$

Tabel 3.2. Hasil analisis kestabilan jaring

| OBS     | Jaring trf stability matriks = 0 |                 |     |              |
|---------|----------------------------------|-----------------|-----|--------------|
|         | HET-1.H.X-Xo                     | HET-1.H.X'-Xext | ≠ 0 | KET          |
| BM1-TP1 | 1                                | 0               | 1   | Tidak Stabil |
| BM1-TP2 | -5                               | 2               | -6  | Tidak Stabil |
| BM1-TP3 | 0                                | -1              | 1   | Stabil       |
| BM1-TP4 | -2                               | 2               | -3  | Tidak Stabil |
| BM1-TP5 | 2                                | 0               | 2   | Tidak Stabil |
| BM1-TP6 | 0                                | 2               | -3  | Tidak Stabil |

Sumber : Penelitian, 2023

25. Setelah dilakukan analisis kestabilan jaringan pengukuran terdapat kesalahan yang besar pada beberapa *baseline* pada matriks koreksi (V), kesalahan pada pengujian awal untuk mengetahui keadaan kerangka pengukuran, kesalahan linierisasi dan kestabilan kerangka.

Tabel 3.3. Hasil matriks residu

| OBS     | V/iterasi 1 |
|---------|-------------|
| BM1-TP1 | 0.07398389  |
| BM1-TP2 | -0.0663096  |
| BM1-TP3 | -0.11503649 |
| BM1-TP4 | -0.05160328 |
| BM1-TP5 | -0.01609667 |
| BM1-TP6 | 0.000848704 |
| BM2-TP1 | 0.241555794 |
| BM2-TP2 | 0.227151657 |
| BM2-TP3 | 0.169762624 |
| BM2-TP4 | 0.017312444 |
| BM2-TP5 | 0.029829719 |
| BM2-TP6 | 0.037948509 |
| BM3-TP1 | 0.017439937 |
| BM3-TP2 | -0.08917448 |
| BM3-TP3 | 0.012969438 |
| BM3-TP4 | 0.025270682 |
| BM3-TP5 | -0.02131088 |
| BM3-TP6 | 0.046221957 |

Sumber: penelitian 2023

Tabel 3.4. Hasil perbandingan kestabilan jaring

| OBS     | Jaring trf stability matrix = 0 |                         |        |              |
|---------|---------------------------------|-------------------------|--------|--------------|
|         | iterasi 1 kartesian             |                         |        |              |
|         | HET-<br>1.H.X-<br>Xo            | HET-<br>1.H.X'-<br>Xext | ≠<br>0 | KET          |
| BM1-TP1 | 1                               | 0                       | 1      | Tidak Stabil |
| BM1-TP2 | -5                              | 2                       | -6     | Tidak Stabil |
| BM1-TP3 | 0                               | -1                      | 1      | Stabil       |
| BM1-TP4 | -2                              | 2                       | -3     | Tidak Stabil |
| BM1-TP5 | 2                               | 0                       | 2      | Tidak Stabil |
| BM1-TP6 | 0                               | 2                       | -3     | Tidak Stabil |
| BM2-TP1 | 2                               | 0                       | 1      | Tidak Stabil |
| BM2-TP2 | -7                              | 2                       | -8     | Tidak Stabil |
| BM2-TP3 | 0                               | -1                      | 1      | Tidak Stabil |
| BM2-TP4 | 0                               | 3                       | -3     | Stabil       |
| BM2-TP5 | 0                               | -1                      | 1      | Stabil       |
| BM2-TP6 | 0                               | 4                       | -4     | Stabil       |
| BM3-TP1 | 0                               | 3                       | -3     | Stabil       |
| BM3-TP2 | 0                               | 0                       | 1      | Stabil       |
| BM3-TP3 | 0                               | 3                       | -3     | Stabil       |
| BM3-TP4 | 0                               | -4                      | 4      | Tidak Stabil |
| BM3-TP5 | 0                               | 3                       | -3     | Tidak Stabil |
| BM3-TP6 | 0                               | -20                     | 20     | Tidak Stabil |

Sumber: penelitian 2023

26. Setelah dilakukan tahapan perhitungan pada iterasi 1 kemudian dilanjutkan tahapan iterasi ke 2 dengan melihat matriks koreksi pada iterasi 1 titik dengan kesalahan paling besar di hapus guna untuk mendapatkan kestabilan jaringan, hasil terlampir.

| Iterasi 2    |
|--------------|
| V/RESIDU     |
| 0,006581209  |
| -0,033070204 |
| 0,005869395  |
| 0,063948834  |
| 0,004904775  |
| 0,0000581710 |
| -0,014544992 |
| 0,077497105  |
| 0,106443337  |
| -0,073687234 |
| -0,080495032 |

-0,073804672

27. Setelah tahapan transformasi s dihitung kemudian dilanjutkan dengan menghitung efek gangguan dalam jaring pengukuran yang tidak dapat diperkirakan dari persamaan 2.27 untuk menentukan komponen vektor observasi yang tidak dapat diprediksi dan persamaan 2.28 hasilnya terlampir.

$$d\hat{X}^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -5,371 \\ 0,3964 \\ -0,1817 \\ \vdots \\ 2,342 \\ -5,318 \\ -1,373 \end{bmatrix}$$

$$d\theta^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} 0,000003 \\ 0,000203 \\ -0,000003 \\ \vdots \\ -0,000245 \\ 0,000054 \\ -0,000024 \end{bmatrix}$$

28. Setelah menghitung efek gangguan dalam jaringan pengukuran yang tidak dapat diperkirakan kemudian menentukan efek gangguan yang dapat diprediksi hasilnya terlampir. Persamaan 2.29 *adjustment* observasi menggunakan vektor pengamatan yang disesuaikan dalam matriks J koefisien parameter dijadikan acuan terkendala, persamaan 2.30 untuk menentukan kesalahan linierisasi dan persamaan 2.31 untuk menentukan kestabilan jaringan pengukuran hasilnya terlampir.

$$dY^{18 \times 1} = \begin{bmatrix} -4,356 \\ -0,125 \\ -1,575 \\ \vdots \\ -0,332 \\ 19,595 \\ -3,819 \end{bmatrix}$$

Tabel 3.5 Hasil analisis kestabilan jaring

| OBS |     | Jaring trf stability matrix = 0 |                 |     |     |
|-----|-----|---------------------------------|-----------------|-----|-----|
|     |     | Iterasi 2                       |                 |     |     |
| AT  | TO  | HET-1.H.X-Xo                    | HET-1.H.X'-Xext | ≠ 0 | KET |
| BM1 | TP1 | 5                               | -5              | 0   | S   |
| BM1 | TP2 | 0                               | 0               | 0   | S   |
| BM1 | TP4 | -1                              | 1               | 0   | S   |
| BM1 | TP5 | 3                               | -3              | 0   | S   |
| BM2 | TP1 | 4                               | -4              | 0   | S   |
| BM2 | TP2 | -2                              | 2               | 0   | S   |
| BM2 | TP4 | 5                               | -5              | 0   | S   |
| BM2 | TP5 | -11                             | 11              | 0   | S   |
| BM3 | TP1 | -4                              | 4               | 0   | S   |
| BM3 | TP2 | 11                              | -11             | 0   | S   |
| BM3 | TP4 | 84                              | -84             | 0   | S   |
| BM3 | TP5 | -17                             | 17              | 0   | S   |

Sumber : Penelitian, 2023

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

Hasil dari penelitian ini menjadi beberapa tahapan yaitu analisis komponen atau karakter dari jaring pengukuran yang tidak dapat diperkirakan, analisis komponen jaring yang dapat diperkirakan. Dalam analisis komponen jaring yang dapat dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut :

1. Pada iterasi 1 dan 2 didapat hasil  $d_{\hat{x}}$  komponen vektor pengantar dan  $d_{\theta}$  komponen vektor perubahan dari 3 BM ke 6 titik tp dengan 18 obeservasi seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1  $d_{\hat{x}}$  komponen vektor pengantar dan  $d_{\theta}$  komponen vektor perubahan pada iterasi 1

| OBS            | Efek karakter komponen jaring yang tidak dapat di prediksi (Iterasi 1) |              |
|----------------|--|--------------|
|                | $d_{\hat{x}}$  | $d_{\theta}$ |
| <b>BM1-TP1</b> | 90,85898   | 1,950184     |
| <b>BM1-TP2</b> | -63,7646   | 3,837144     |
| <b>BM1-TP3</b> | -60,9993   | 116,0054     |
| <b>BM1-TP4</b> | -119,021   | 0,102873     |
| <b>BM1-TP5</b> | 96,38354   | 3,558482     |
| <b>BM1-TP6</b> | 87,76497   | -0,00315     |
| <b>BM2-TP1</b> | 34,82397   | 512,455      |
| <b>BM2-TP2</b> | -117,096   | -799,658     |
| <b>BM2-TP3</b> | 5,587029   | 837,3853     |
| <b>BM2-TP4</b> | -13,64   | -110,959     |
| <b>BM2-TP5</b> | 15,76352   | 93,59339     |
| <b>BM2-TP6</b> | 9,015464   | -60,3342     |
| <b>BM3-TP1</b> | 14,15329   | -409,825     |
| <b>BM3-TP2</b> | -16,651  | 675,6664     |
| <b>BM3-TP3</b> | -14,836  | -848,367     |
| <b>BM3-TP4</b> | -7,32107   | 104,8887     |
| <b>BM3-TP5</b> | 9,136501   | -76,7471     |
| <b>BM3-TP6</b> | 5,253218   | 57,45312     |

Sumber: penelitian 2023

2. Pada iterasi ke 2 ada mengurangi 2 titik pantau pada tp3 dan tp6 karena pada iterasi 1 dan 2 terdapat kesalahan yang signifikan yang mengganggu

kerangka jaringan sehingga dari 18 observasi dari 3 titik BM ke 6 titik pantau sehingga menjadi 4 titik pantau pada iterasi 2 didapat hasil  $d_{\hat{x}}$  komponen vektor pengantar dan  $d_{\theta}$  komponen vektor perubahan dari 3 BM ke 4 titik tp dengan 12 obeservasi seperti tabel dibawah ini :

Tabel 4. 2  $d_{\hat{x}}$  komponen vektor pengantar c dan  $d_{\theta}$  komponen vektor perubahan pada Iterasi

| OBS     | Efek karakter yang tidak dapat diprediksi |              |
|---------|---|--------------|
|         | Iterasi 2                                 |              |
|         | $d_{\hat{x}}$                             | $d_{\theta}$ |
| BM1-TP1 | -5,37141248                               | 0,000003     |
| BM1-TP4 | 0,396436853                               | 0,000203     |
| BM1-TP5 | -0,18174167                               | -0,000003    |
| BM1-TP6 | -0,01540408                               | -0,000580    |
| BM2-TP1 | -0,06792121                               | 0,001584     |
| BM2-TP4 | -0,23053803                               | -0,000316    |
| BM2-TP5 | 0,879402968                               | -0,000029    |
| BM2-TP6 | -1,88722006                               | 0,000037     |
| BM3-TP1 | 6,719544384                               | -0,000018    |
| BM3-TP4 | 2,342826323                               | -0,000245    |
| BM3-TP5 | -5,31884695                               | 0,000054     |
| BM3-TP6 | -1,37322393                               | -0,000024    |

Sumber: penelitian 2023

Dalam analisis komponen atau karakter jaring yang dapat diperikinkan juga dibagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

3. Pada iterasi 1 didapat hasil  $d_{\hat{y}}$  Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan dari 3 BM ke 6 titik tp dengan 18 obeservasi sebagai berikut:

Tabel 4. 3  $d_{\hat{y}}$  Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan

| OBS            | Efek karakter komponen jaring yang dapat diprediksi |
|----------------|---|
|                | $d_{\hat{y}}$                                       |
| <b>BM1-TP1</b> | 56,25853277   |
| <b>BM1-TP2</b> | -56,95258318  |
| <b>BM1-TP3</b> | -167,4146036  |
| <b>BM1-TP4</b> | -3,847861794  |
| <b>BM1-TP5</b> | -8,151660457  |
| <b>BM1-TP6</b> | -1,805664223  |

|                |              |
|----------------|--------------|
| <b>BM2-TP1</b> | -188,2775449 |
| <b>BM2-TP2</b> | 337,4949478  |
| <b>BM2-TP3</b> | -64,08787222 |
| <b>BM2-TP4</b> | 35,10407835  |
| <b>BM2-TP5</b> | -51,9524002  |
| <b>BM2-TP6</b> | 19,85254716  |
| <b>BM3-TP1</b> | -67,79817998 |
| <b>BM3-TP2</b> | 384,3173446  |
| <b>BM3-TP3</b> | -36,43933799 |
| <b>BM3-TP4</b> | 30,67195051  |
| <b>BM3-TP5</b> | -67,33286179 |
| <b>BM3-TP6</b> | 14,30452821  |

Sumber: penelitian 2023

4. Pada iterasi 2 didapat hasil  $d_{\hat{\gamma}}$  Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan dari 3 BM ke 4 titik tp dengan 12 obeservasi sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Komponen vektor pengamatan yang disesuaikan dari 3 BM ke 4 titik tp dengan 12 obeservasi

| <b>OBS</b> |            | Efek karakter komponen jaring yang dapat diprediksi |
|------------|------------|---|
| <b>AT</b>  | <b>TO</b>  |   |
| <b>BM1</b> | <b>TP1</b> | -4,35614  |
| <b>BM1</b> | <b>TP2</b> | -0,12545  |
| <b>BM1</b> | <b>TP4</b> | -1,57512  |
| <b>BM1</b> | <b>TP5</b> | -0,56146  |
| <b>BM2</b> | <b>TP1</b> | 0,242506  |
| <b>BM2</b> | <b>TP2</b> | -0,46589  |
| <b>BM2</b> | <b>TP4</b> | 14,27032  |
| <b>BM2</b> | <b>TP5</b> | -6,13145  |
| <b>BM3</b> | <b>TP1</b> | 1,13438   |
| <b>BM3</b> | <b>TP2</b> | -0,33225  |
| <b>BM3</b> | <b>TP4</b> | 19,59542  |
| <b>BM3</b> | <b>TP5</b> | -3,81992  |

Sumber: penelitian 2023

5. Elemen kesalahan linirisasi pada iterasi 1, 2 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Elemen kesalahan linirisasi

| <b>OBS</b> | <b>KESALAHAN LINIERISASI</b> |                  |
|------------|------------------------------|------------------|
|            | <b>ITERASI 1</b>             | <b>ITERASI 2</b> |
|            |                              |                  |

|   |      |            |
|---|------|------------|
| 1 | 58,2 | 0,00000012 |
|---|------|------------|

Sumber: penelitian 2023

6. Kestabilan jaringan pada iterasi 1 pada 3 BM ke 6 titik tp dengan 18 obeservasi dengan ketentuan hitungan yang tidak sama dengan 0 dianggap tidak stabil.sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Stabilitas jaringan pada iterasi 1

| OBS     | Jaring trf stability matrix = 0 |                 |      |     |
|---------|---------------------------------|-----------------|------|-----|
|         | HET-1.H.X-Xo                    | HET-1.H.X'-Xext | ≠ 0  | KET |
| BM1-TP1 | -1                              | -1              | 1    | TS  |
| BM1-TP2 | -3                              | -1              | -2   | TS  |
| BM1-TP3 | -64                             | 40              | -24  | TS  |
| BM1-TP4 | 0                               | 0               | 0    | S   |
| BM1-TP5 | -3                              | -2              | -1   | TS  |
| BM1-TP6 | -4                              | 3               | -7   | S   |
| BM2-TP1 | -21                             | -1              | -21  | TS  |
| BM2-TP2 | -26                             | -5              | -22  | TS  |
| BM2-TP3 | -403                            | 310             | -713 | TS  |
| BM2-TP4 | -3                              | -3              | 0    | TS  |
| BM2-TP5 | -32                             | -5              | -27  | TS  |
| BM2-TP6 | 282                             | 36              | 246  | TS  |
| BM3-TP1 | 17                              | 2               | 15   | TS  |
| BM3-TP2 | 24                              | 6               | 19   | TS  |
| BM3-TP3 | 419                             | -292            | 711  | TS  |
| BM3-TP4 | 3                               | 5               | 8    | TS  |
| BM3-TP5 | 27                              | 6               | 21   | TS  |
| BM3-TP6 | -260                            | -32             | -291 | TS  |

Sumber: penelitian 2023

7. Kestabilan jaringan pada iterasi 2 pada 3 BM ke 4 titik tp dengan 12 obeservasi dengan ketentuan hitungan yang tidak sama dengan 0 dianggap tidak stabil.sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Stabilitas jaringan pada iterasi 2

| OBS | Jaring trf stability matrix = 0 |    |              |                 |     |     |
|-----|---------------------------------|----|--------------|-----------------|-----|-----|
|     | AT                              | TO | HET-1.H.X-Xo | HET-1.H.X'-Xext | ≠ 0 | KET |
| BM1 | TP1                             |    | 5            | -5              | 0   | S   |
| BM1 | TP2                             |    | 0            | 0               | 0   | S   |

|            |            |     |     |   |   |
|------------|------------|-----|-----|---|---|
| <b>BM1</b> | <b>TP4</b> | -1  | 1   | 0 | S |
| <b>BM1</b> | <b>TP5</b> | 3   | -3  | 0 | S |
| <b>BM2</b> | <b>TP1</b> | 4   | -4  | 0 | S |
| <b>BM2</b> | <b>TP2</b> | -2  | 2   | 0 | S |
| <b>BM2</b> | <b>TP4</b> | 5   | -5  | 0 | S |
| <b>BM2</b> | <b>TP5</b> | -11 | 11  | 0 | S |
| <b>BM3</b> | <b>TP1</b> | -4  | 4   | 0 | S |
| <b>BM3</b> | <b>TP2</b> | 11  | -11 | 0 | S |
| <b>BM3</b> | <b>TP4</b> | 84  | -84 | 0 | S |
| <b>BM3</b> | <b>TP5</b> | -17 | 17  | 0 | S |

Sumber: penelitian 2023

#### 4.2 Pembahasan

Analisis gangguan *minimum constrains* dalam *free network adjustment* mencerminkan bagian penting dari jaring pengukuran yang dapat disesuaikan melalui penyesuaian jaring pada iterasi 1 sampai iterasi 2 tabel 4.1 sampai dengan tabel 4.7 ialah hasil efek jaringan yang dapat diperkirakan dan tidak dapat diperkirakan. Dimana persamaan 2.18 menunjukkan solusi bebas bersih yang benar secara matematis namun secara geografis bermasalah karena kesalahan yang signifikan pada jaring pengukuran dan jika ada gangguan signifikan dalam jaring pengukuran dapat diperkuat dengan persamaan 2.18 untuk menunjukkan efek yang tidak berarti dalam bentuk yang tidak terkondisi untuk matriks normal yang dibatasi Namun  $N + H^t.W.H$  menunjukan ketidakstabilan yang berhubungan dengan jaringan pengukuran. Kendala minimum bergantung pada struktur matriks pada persamaan 2.18 dan 2.19. Analisis gangguan yang tidak dapat diperkirakan ialah untuk mengetahui efek komponen yang tidak dapat diperkirakan dari jaring dalam proses pengukuran dan proses akuisisi data dalam pengukuran yang mempengaruhi kestabilan jaringan pengukuran pada iterasi 1 dan 2 tabel 4.6 dan 4.7 menunjukan kestabilan datum akibat kerangka pengukuran yang kurang stabil.

Efek jaringan yang tidak dapat diperkirakan dibagi menjadi 2 tahapan yaitu  $d_x$  komponen vektor c pengamatan atau jarak semu pada persamaan 2.27 dan  $d_\theta$  Komponen vektor perubahan pada persamaan 2.28. dan untuk efek jaringan yang tidak diperkirakan dibagi menjadi 3 tahapan yaitu  $d_{\hat{y}}$  komponen vektor pengamatan yang disesuaikan pada persamaan 2.29,  $\epsilon_i$  kesalahan liniersasi persamaan 2.30 dan stabilitas jaring 2.31 untuk analisis kestabilan jaring peran persamaan 2.17 memegang peran penting dalam kestabilan jaring dalam *minimum constrains* dalam *free network adjustment* dimana persamaan 2.31 untuk

mendeteksi stabilisasi matriks yang juga mewakili stabilisasi pada jaring yang diakibatkan oleh kendala minimum setiap vektor atau baseline pengukuran yang tidak sama dengan 0 berarti tidak stabil. Tabel 4.7 adalah hasil kestabilan jaring pengukuran.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis efek jaring pengukuran yang tidak dapat diperkirakan dan dapat diperkirakan dapat disimpulkan bahwa Matriks ( $HET$ )-1 memegang peran penting dalam stabilitas jaringan dalam solusis minimum constrains dalam free network adjusment dan dapat mengontrol minimum constrains atau kendala dalam pada jaringan pengukuran. Efek jaringan yang tidak dapat diperkirakan dibagi menjadi 2 tahapan sebagai berikut :

1. Efek karakter dalam jaring yang tidak dapat diprediksi dibagi menjadi 2 sebagai berikut :
  - a) Komponen vektor  $c$  pengamatan atau jarak semu pada iterasi 1 dengan jumlah observasi 18 dari 3 BM dan 6 titik TP dengan nilai komponen vektor  $c$  terbesar berada pada observasi BM 1 – TP 1 dan BM 1 – TP 5 dan komponen vektor  $c$  yang terkecil berada pada observasi BM 2 – TP 4 dan BM 3 – TP 6 dan pada iterasi 2 dengan jumlah observasi 16 dari 3 BM dan 4 titik TP komponen vektor  $c$  pengamatan terbesar berada pada observasi BM 1 – TP 1 dan BM 3 – TP 1 dan komponen vektor  $c$  yang terkecil berada pada observasi BM 1 – TP 6 dan BM 2 – TP 1.
  - b) komponen vektor perubahan pada iterasi 1 dengan jumlah observasi 18 dari 3 BM dan 6 titik TP dengan perubahan vektor terbesar berada pada BM 2 – TP 3, pada iterasi 2 dengan jumlah observasi 12 dari 3 BM dan 4 titik TP dengan perubahan vektor terbesar berada pada BM 2 – TP 1
2. Efek karakter dalam jaring yang dapat diprediksi dibagi menjadi 3 sebagai berikut :
  - a) Matriks observasi yang disesuaikan pada iterasi 1 dengan jumlah observasi 18 dari 3 BM dan 6 titik TP dengan matriks observasi yang terbesar berada pada BM 1 – TP 3 dan BM 3 – TP 3 pada iterasi 2 dengan jumlah observasi 12 dari 3 BM dan 4 titik TP dengan matriks observasi yang terbesar berada pada BM 2 – TP 4 dan BM 3 – TP 4.
  - b) Kesalahan linierisasi pada 2 iterasi yang terprediksi pada iterasi 1 sebesar 58,2 dan iterasi 2 sebesar 0,00000012

- c) Kestabilan jaring pada iterasi 1 dengan jumlah observasi 18 dari 3 BM dan 6 titik TP dengan nilai ketidakstabilan terjadi secara signifikan pada kerangka jaringan pengukuran dan pada iterasi 1 observasi yang stabil berada pada BM 1 – TP 4 dan BM 1 – TP 6 dengan nilai yang nyatakan stabil sama dengan 0 pada iterasi 2 dengan jumlah observasi 12 dari 3 BM dan 4 titik TP dengan kestabilan jaring berada pada semua observasi.

Ketidakstabilan dipengaruhi oleh 2 titik yaitu TP 3 dan TP 6 karena mengandung kesalahan yang signifikan dari iterasi 1 kesalahan pada 2 titik terjadi karena gangguan geometri internal yaitu komponen pengantar dan jarak semu yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada kerangka pengukuran dan dapat mengganggu datum pengukuran.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian kedepannya dengan cara pengambilan data menggunakan *GNSS* dan metode *free network adjustment* sebagai berikut

1. Sebelum melakukan pengukuran sebaiknya melakukan survei terlebih dahulu guna untuk menentukan tepat titik bm dan titik pendekatan di area penelitian.
2. Pembuatan titik harus dipastikan stabil agar titik tidak mengalami perubahan pada saat melakukan pengukuran dan peninjau kembali titik kontrol. Titik yang di sebar sebagai titik kontrol harus lebih dari 1 titik guna mengikat dari berbagai arah dengan membentuk suatu jaring pengukuran.
3. Alat yang digunakan harus terkalibrasi dengan baik untuk meminimalisir kesalahan pada alat dan mengurangi kesalahan pengukuran.

## Daftar Pustaka

- Abidin H.Z. (2000). Beberapa pemikiran tentang sistem dan kerangka referensi kooi  
DKI Jakarta.
- Altamimi Z, Dermanis.A.. (2009). Pilihan sistem referensi di formulasi ITRF.
- Bjerhammar.A.(1973). Theory of errors and generalized matrix inverses. Elsevier
- Blaaha G. (1971a). Inner adjustment constraints with emphasis on range  
observations. Department of Geodetic Science, The Ohio State  
University.
- Blaaha G. (1982). A note on adjustment of free networks.
- C.Kotsakis. (2012). Reference frame stability and nonlinear distortion in  
minimum-constrained network adjustment.
- C.Kotsakis .(2018). Datum definition and minimal constraints
- Cloud,D., Pollet,A., Collilieux,X.,& Berio, P. (2009). Global optimization of core  
station networks for space geodesy: application to the referencing of  
the SLR EOP with respect to ITRF
- Dermanis.A.(1998). Generalized inverses of nonlinear mappings and the nonlinear  
geodetic datum problem
- Dermanis.A.(1994). The photogrammetric inner constraint.
- E.Grafarend, B. Scaffrin. (1974). Unbiased free net adjustment
- felipe Rodrigues, at al .(2020). Free network adjustment: Minimum inner  
constraints and Pseudo-inverse approaches
- Grafarend EW, Scaffrin.B.(1976).Equivalence of estimable quantities and  
invariants in geodetic networks.
- Koch .K.R .(1999). Parameter estimation and hypothesis testing in linear models,  
2nd edition.
- Koch .K.R .(1987). Parameter estimation and hypothesis testing in linear models.  
Springer, Berlin
- Koch.K.R.(1985).Ein statistischen Auswerteverfahren fur Deformations  
messungen.
- Leick A, van Gelder B.H.W .(1975). On similarity transformations and geodetic  
network distortions based on Doppler satellite observations.

- Perelmuter.A. (1979). Adjustment of free networks.
- Papo H.B, Perelmuter. A.(1981). Datum definition by free net adjustment
- Papo HB (1986) Extended free net adjustment constraints. NOAA Technical Report.
- Sillard P, Boucher C .(2001). A review of algebraic constraints in terrestrial reference frame datum definition.
- Soler T, Marshall J .(2003). A note on frame transformations with applications to geodetic datums.
- Xu.P. (1995) Testing the hypotheses of non-estimable functions in free net adjustment models.
- Ghilani .C.D. (2006). Adjustment computation Spatial data analysis.
- Badan Informasi Geospasial (2002). Standar nasional indoseia Jaring Kontrol Geodesi dari <https://srgi.big.go.id/>