

**PERBANDINGAN AKURASI HASIL PENGOLAHAN DATA
SURVEY GNSS MENGGUNAKAN KONFIGURASI SATELIT GPS,
GLONASS, DAN BEIDOU PENENTUAN TITIK KONTROL DESA
SUKOHARJO II PRINGSEWU LAMPUNG**

(Tugas Akhir)

Oleh

**KUNTORO AJI PRABOWO
1905061038**



**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK SURVEY DAN PEMETAAN
JURUSAN TEKNIK GEODESI DAN GEOMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**PERBANDINGAN AKURASI HASIL PENGOLAHAN DATA
SURVEY GNSS MENGGUNAKAN KONFIGURASI SATELIT GPS,
GLONASS, DAN BEIDOU PENENTUAN TITIK KONTROL DESA
SUKOHARJO II PRINGSEWU LAMPUNG**

Oleh

KUNTORO AJI PRABOWO

Tugas Akhir

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
AHLI MADYA TEKNIK**

Pada

**Program Studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik
Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PERBANDINGAN AKURASI HASIL PENGOLAHAN DATA SURVEY GNSS MENGGUNAKAN KONFIGURASI SATELIT GPS, GLONASS, DAN BEIDOU PENENTUAN TITIK KONTROL DESA SUKOHARJO II PRINGSEWU LAMPUNG

Oleh

Kuntoro Aji Prabowo

Global navigation satellite system (GNSS) adalah sistem yang digunakan untuk mengukur posisi dan waktu dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pengukuran posisi titik kontrol batas desa merupakan salah satu kegiatan penting dalam pengukuran titik kontrol batas desa. Namun, akurasi posisi titik kontrol dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sistem GNSS yang digunakan. Tugas akhir ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem GNSS dalam pengukuran titik kontrol batas desa Sukoharjo II Pringsewu Lampung.

Tugas akhir ini menggunakan metode pengukuran titik kontrol GNSS secara statik moda jaring. Data yang dikumpulkan akan diolah dengan melibatkan sistem GPS, GLONASS, dan BEIDOU menggunakan tujuh strategi yang berbeda. Strategi tersebut meliputi kombinasi berbagai konfigurasi satelit, seperti strategi 1 dengan GPS + GLONASS + BEIDOU, strategi 2 dengan GPS + GLONASS, strategi 3 dengan GPS + BEIDOU, strategi 4 dengan GLONASS + BEIDOU, strategi 5 dengan GPS, strategi 6 dengan GLONASS, dan strategi 7 dengan BEIDOU. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Hi-target Geomatics Office (HGO).

Kesimpulan dari tugas akhir ini bahwa penggunaan 6 (GLONASS) memiliki RMSE tertinggi secara horizontal (0.0065 m) dan vertikal (0.028 m). Sementara itu, Strategi 3 (GPS + BEIDOU) menunjukkan RMSE terendah secara horizontal (0.0004 m) dan vertikal (0.001 m) dalam penentuan titik kontrol di Sukoharjo II Pringsewu Lampung.

Kata Kunci : GNSS, Sistem Satelit, Titik Kontrol.

ABSTRACT

COMPARISON OF ACCURACY OF DATA PROCESSING RESULTS GNSS SURVEY USING GPS, GLONASS AND BEIDOU SATELLITE CONFIGURATION DETERMINATION OF CONTROL POINTS IN SUKOHARJO II VILLAGE PRINGSEWU LAMPUNG

By

Kuntoro Aji Prabowo

Global navigation satellite system (GNSS) is a system used to measure position and time with a high level of accuracy. Measuring the position of village boundary control points is one of the important activities in measuring village boundary control points. However, the accuracy of the control point position can be affected by various factors, including the GNSS system used. This final project aims to compare the performance of GNSS systems in the measurement of Sukoharjo II Pringsewu Lampung village boundary control points.

This final project uses the GNSS control point measurement method in static net mode. The collected data will be processed by involving GPS, GLONASS, and BEIDOU systems using seven different strategies. The strategies include combinations of various satellite configurations, such as strategy 1 with GPS + GLONASS + BEIDOU, strategy 2 with GPS + GLONASS, strategy 3 with GPS + BEIDOU, strategy 4 with GLONASS + BEIDOU, strategy 5 with GPS, strategy 6 with GLONASS, and strategy 7 with BEIDOU. Data processing is done using Hi-target Geomatics Office (HGO) software.

The conclusion of this final project is that the use of 6 (GLONASS) has the highest RMSE horizontally (0.0065 m) and vertically (0.028 m). Meanwhile, Strategy 3 (GPS + BEIDOU) showed the lowest RMSE horizontally (0.0004 m) and vertically (0.001 m) in determining control points in Sukoharjo II Pringsewu Lampung.

Keywords: GNSS, Satellite System, Control Point.

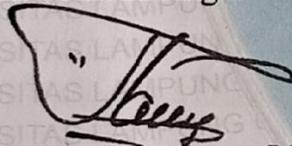
HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN AKURASI HASIL
PENGOLAHAN DATA SURVEY GNSS
MENGUNAKAN KONFIGURASI
SATELIT GPS, GLONASS, DAN
BEIDOU PENENTUAN TITIK
KONTROL DESA SUKOHARJO II
PRINGSEWU LAMPUNG

Nama Mahasiswa : KUNTORO AJI PRABOWO
NPM : 1905061038
Program Studi : D3 Teknik Survey dan Pemetaan
Fakultas : Teknik

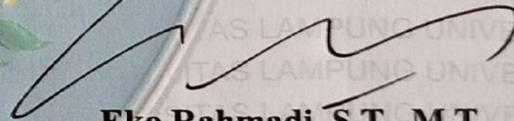
MENYETUJUI

Dosen Pembimbing 1



Ir. Fauzan Murdapa. M.T., IPM.
NIP 19641012 1992031002

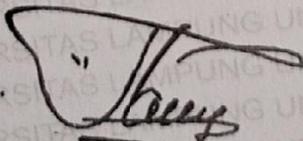
Dosen Pembimbing 2



Eko Rahmadi. S.T., M.T.
NIP 197203022006041002

MENGETAHUI

Ketua Program Studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan Jurusan Teknik Geodesi
Geomatika

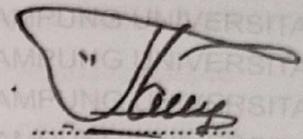


Ir. Fauzan Murdapa. M.T., IPM.
NIP 19641012 199203 1 002

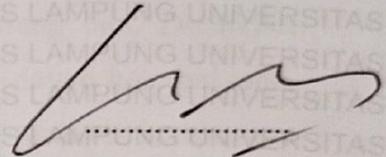
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

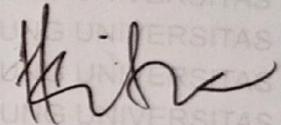
Ketua : Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM



Sekretaris : Eko Rahmadi, S.T., M.T

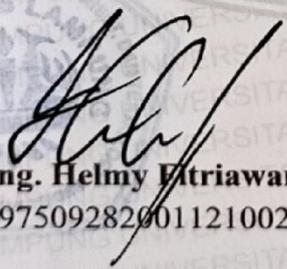


Penguji : Citra Dewi, S.T., M.Eng .

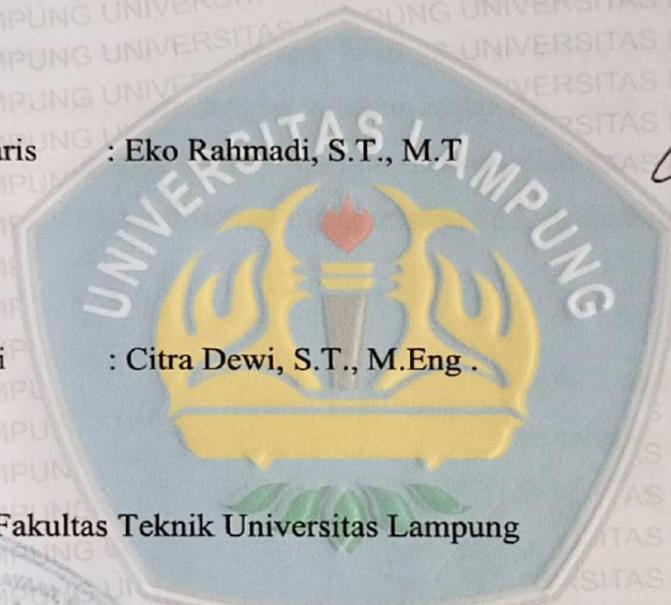


2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian : 22 Maret 2024



SURAT PERNYATAAN

Penulis adalah **KUNTORO AJI PRABOWO** dengan NPM 1905061038 dengan ini menyatakan bahwa apa-apa yang tertulis dalam Tugas Akhir ini adalah hasil karya penulis berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dengan hasil yang merujuk pada beberapa sumber seperti buku, jurnal, dan lain-lain yang telah dipublikasi sebelumnya dengan kata lain bukan hasil plagiat karya orang lain. Demikian pernyataan ini penulis buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam keterpaksaan, dan dapat dipertanggungjawabkan apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka penulis siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Januari 2024

Yang membuat pernyataan



Kuntoro Aji Prabowo

NPM 1905061038

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 17 April 1998, Penulis merupakan anak kedua dari pasangan ibu Sumarni dan bapak Ngadino.

Jenjang akademis penulis dimulai pada tahun 2005 Sekolah Dasar di SDN 1 Srengsem, Kecamatan Panjang, Kota Bandar Lampung. Selanjutnya pada tahun 2010 melanjutkan Pendidikan di SMP Xaverius 3 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2013. Kemudian pada tahun 2014 melanjutkan di SMK 2 Mei Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 2016

Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa program studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan Universitas Lampung. Pada Tahun 2022 penulis melakukan kegiatan kerja Praktek (KP) di desa Sukoharjo 2, Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung.

MOTTO

“Ciptakan jejak berarti dalam hidupmu, agar kisahmu abadi”

(KAP)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak.”

(Ralph Waldo Emerson)

“dan jangan kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah, melainkan kaum yang kafir”

(SURAT Yusuf ayat 87 – Jangan putus asa)

“Dan bersabarlah. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”

(SURAT Al-Anfaal ayat 46 – Bersabarlah)

KUN

FAYAKUN

“JADILAH, MAKA TERJADILAH”

PERSEMBAHAN



Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang ku persembahkan dengan tulus Tugas Akhir ini kepada :
kedua orang tua ku yang sangat aku cintai.

Bapaku tersayang NGADINO dan Ibuku tercinta SUMARNI
Yang tak henti-hentinya berdo'a demi kesehatan dan kesuksesanku, yang selalu memberikan masukan dan selalu mendukungku.

Untuk Kakak laki-lakiku yang bernama DEGA DINO SANJAYA, dan adik perempuanku saya DINDA FRANSISKA APRIYANTI yang senantiasa selalu menghibur saya tiada henti- hentinya.

Saya ucapkan terimakasih juga untuk seseorang yang istimewa yaitu DIAN MUTMAINAH yang senantiasa mendukung dan mendoakan yang terbaik.

Teman-teman 19 yang telah memberikan apa arti persahabatan, kebersamaan semoga kita semua dapat mencapai puncak dan tidak pernah saling lupa.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas segala dan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perbandingan Akurasi Hasil Pengolahan Data Survey GNSS Menggunakan Konfigurasi Satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU Penentuan Titik Kontrol Desa Sukoharjo II Pringsewu Lampung” sebagai salah satu kelengkapan persyaratan akademis untuk mendapatkan gelar Ahli Madya (A.Md) di Universitas Lampung. Dalam Menyelesaikan laporan tugas akhir ini penulis banyak memperoleh tenaga maupun pikiran. Maka dari itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang sudah banyak terlibat dan membantu penulis, terutama kepada :

1. Bapak Dr.Eng.Ir. Helmy Fitriawan,S.T.,M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM. Ketua Jurusan Program Studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Selaku Dosen pembimbing 1.
3. Bapak Eko Rahmadi, S.T., M.T. selaku Dosen pembimbing 2.
4. Ibu Citra Dewi, S.T., M.Eng selaku dosen penguji
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Survey dan Pemetaan Fakultas Teknik Universitas Lampung. Terima kasih untuk ilmu dan bimbingannya selama ini.
6. Untuk Kedua orang tua tersayang, Bapak Ngadino dan Ibu Sumarni yang tak pernah berhenti memberikan perhatian, dukungan, semangat, dan doa yang tak pernah ada habisnya untuk keberhasilan penulis.
7. Untuk seseorang yang istimewa Dian Mutmainah yang telah memberikan dukungan dengan tulus dan selalu memberikan semangat untukku.

8. Untuk teman-teman Seperjuangan Teknik Survey dan Pemetaan angkatan 19 yang telah memberikan semangat, motivasi, dan materi kepada penulis.
9. Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin

Bandar Lampung, 16 Januari 2024

KUNTORO AJI PRABOWO

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABLE	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Lokasi kegiatan.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. GNSS (<i>Global Navigation Satelit System</i>).....	6
2.2. Penentuan Posisi GPS.....	8
2.3. Metode Statik Differensial	9
2.4. Kesalahan Dan Bias Pengamatan	12
2.5. GPS (<i>Global Positioning System</i>)	15
2.6. GLONASS.....	16
2.7. BEIDOU	17
2.8. <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	19
2.9. Standar Deviasi.....	19
2.10. Akurasi	20
2.11 Akurasi dan Presisi	21
2.12 HGO (<i>Hi-Target Geomatics Office</i>)	22
III. PELAKSANAAN TUGAS AKHIR	23
3.1. Metodologi Tugas Akhir	23
3.2. Tahap persiapan.....	24
3.2.1. Studi Literatur.....	24
3.2.2. Perencanaan Pengukuran.....	24
3.3. Pelaksanaan Pengukuran	28
3.4. Pengambilan Data.....	28

3.5. Strategi Pengolahan.....	29
3.6. Pengolahan Data.....	30
3.7 Penyajian Data.....	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1. Hasil Pengolahan Data Pengamatan.....	38
4.2. Hasil Dan Pembahasan Standar Deviasi.....	47
4.3. Hasil Dan Pembahasan Nilai RMS.....	75
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	79
5.1. Kesimpulan.....	79
5.2. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar.1 Lokasi Tugas Akhir	4
Gambar 2 Sistem Penentuan Posisi Global (Abidin,2007)	7
Gambar 3 Prinsip Dasar Penentuan Posisi Pendekatan Vektor (Abidin, 2007).....	8
Gambar 4 Prinsip pengukuran metode statik diferensial	9
Gambar 5 Moda jaringan dan moda radial (Abidin, 2006)	11
Gambar 6 Ilustrasi <i>Baseline</i> bebas dan trivial.....	11
Gambar 7 Orbit Satelit GPS (Rudianto dan Izman 2011).....	15
Gambar 8 Ilustrasi Perbedaan Akurasi dan Presisi (Budiyanto, Perbedaan Akurasi dan Presisi dalam Pengukuran)	21
Gambar 9 Diagram Alir Tugas Akhir	23
Gambar 10 Desain Pengukuran Statik Jaring.....	24
Gambar 11 <i>Receiver Hi-target</i> V30 (sumber: www.hitarget.ir)	26
Gambar 12 <i>Receiver Hi-target</i> V60 (sumber: www.hitarget.ir)	26
Gambar 13 Membuat " <i>Project</i> " Baru.....	30
Gambar 14 Mengatur zona waktu " <i>project</i> "	30
Gambar 15 Memilih " <i>Tolerance</i> "	31
Gambar 16 Memilih sistem koordinat.....	31
Gambar 17 <i>Import</i> Data GNSS	32
Gambar 18 Mengatur Titik Kontrol dan Memasukan Tinggi Alat Base	32
Gambar 19 Memasukan Tinggi Alat <i>Base</i>	33
Gambar 20 Menghapus <i>Baseline Trivial</i>	33
Gambar 21 Memasukan Tinggi Alat <i>Rover</i>	34
Gambar 22 Proses Koreksi Data Sinyal Satelit.....	34
Gambar 23 Memilih Sistem Satelit	35
Gambar 24 <i>Post-processing</i>	35
Gambar 25 <i>Report</i> Data	36
Gambar 26 Hasil Pengolahan.....	36

DAFTAR TABLE

	Halaman
Table 1 Ilustrasi pengamatan Statik Jaring.	25
Table 2 Spesifikasi Hi Target V30 dan V60 (sumber: www.hitarget.ir)	27

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah sistem yang digunakan untuk mengukur posisi dan waktu dengan tingkat akurasi yang tinggi. Saat ini, terdapat beberapa sistem GNSS yang beroperasi secara global, termasuk GPS (Global Positioning System) milik Amerika Serikat, GLONASS (Global Navigation Satellite System) milik Rusia, dan BEIDOU milik China. Masing-masing sistem memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal ketersediaan sinyal, akurasi, dan pengaruh lingkungan.

Penggunaan GNSS semakin berkembang di berbagai sektor, seperti industri konstruksi, pertanian presisi, navigasi pesawat, dan pemantauan deformasi bumi. Dalam beberapa aplikasi, akurasi posisi yang tinggi sangat penting untuk menjamin keberhasilan proyek atau operasi. Oleh karena itu, dengan melakukan perbandingan akurasi pengolahan data GNSS menggunakan berbagai sistem satelit, dapat membantu pengguna untuk memilih sistem GNSS yang paling sesuai untuk aplikasi mereka dan meningkatkan kualitas pengukuran posisi dan waktu yang dihasilkan.

Salah satu area di mana akurasi posisi GNSS menjadi kritis adalah dalam pengukuran titik kontrol batas desa. Pengukuran posisi titik kontrol batas desa merupakan salah satu kegiatan penting dalam pengelolaan wilayah administratif. Namun, akurasi posisi titik kontrol dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sistem GNSS yang digunakan. Data GNSS diambil dari 9 titik kontrol yang tersebar di wilayah tersebut dengan menggunakan *receiver* GNSS *Hi-target* V60 dan *Hi-Target* V30 dengan melibatkan konfigurasi satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU. Data GNSS diolah dengan aplikasi HGO yang merupakan *softwa*

yang dapat mengolah data GNSS dengan berbagai sistem satelit secara Konfigurasi atau tunggal. Aplikasi HGO juga dapat menghitung parameter ketelitian hasil pengolahan data GNSS, seperti standar deviasi dan koordinat titik kontrol yang diamati. Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pengolahan data titik kontrol yang sudah diamati di lapangan dengan menggunakan tujuh strategi yang berbeda. Perbedaan strategi terletak pada konfigurasi satelit yang digunakan yaitu GPS + GLONASS + BEIDOU, GPS + GLONASS, GPS + BEIDOU, GLONASS + BEIDOU, GPS, GLONASS, BEIDOU.

Tugas akhir ini berfokus membahas pengaruh konfigurasi sistem satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU terhadap ketelitian hasil pengolahan data GNSS dengan metode statik jaring pada titik kontrol di Sukoharjo 2 Pringsewu Lampung. Tugas akhir ini memberikan informasi tentang kinerja sistem satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU dalam hal akurasi posisi, memberikan rekomendasi tentang konfigurasi sistem satelit mana yang paling optimal untuk digunakan dalam pengolahan data GNSS dengan menggunakan metode statik jaring.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah untuk mengevaluasi perbandingan nilai koordinat dan Standar Deviasi pada setiap titik kontrol yang diamati, yang dihasilkan dari berbagai strategi pengolahan data GNSS dengan konfigurasi satelit yang berbeda. Secara khusus, fokus penelitian adalah pada pengaruh konfigurasi sistem satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU terhadap ketelitian hasil pengolahan data GNSS menggunakan metode statik jaring pada titik kontrol di Sukoharjo 2 Pringsewu Lampung.

1.3 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan menemukan konfigurasi satelit terbaik untuk akurasi posisi titik kontrol. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan standar deviasi dari sistem GNSS (Global Navigation Satellite System) menggunakan tujuh strategi konfigurasi berbeda. Strategi tersebut melibatkan kombinasi satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU, serta analisis nilai RMSterdhadap strategi referensi. Kesimpulan tugas akhir akan memberikan rekomendasi konfigurasi sistem satelit yang optimal untuk pengukuran posisi yang lebih akurat.

1.4 Batasan masalah

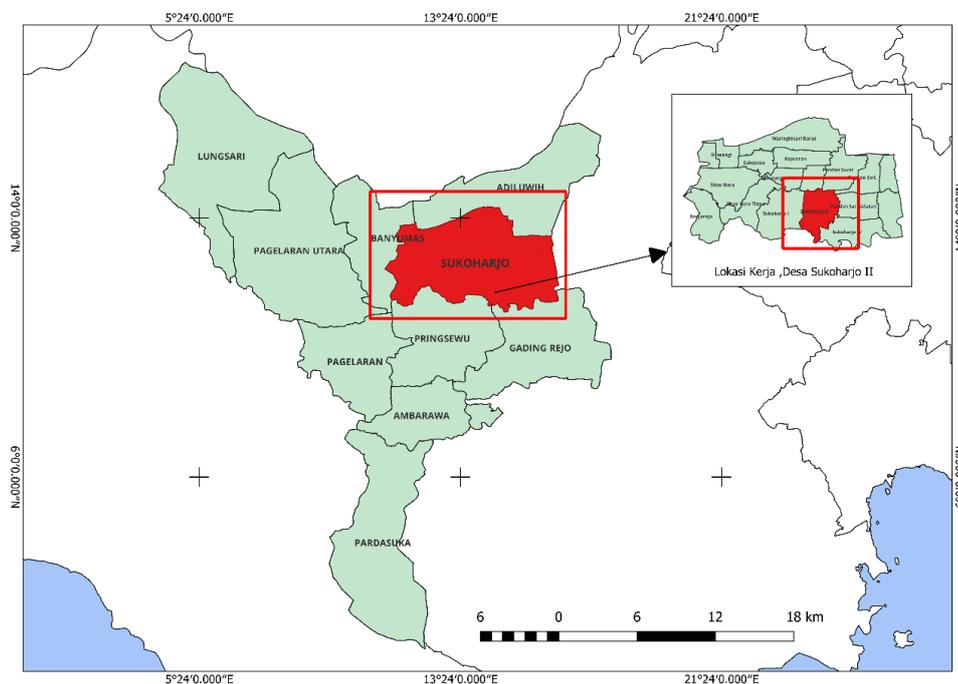
Dalam tugas akhir ini, ruang lingkup permasalahan telah disederhanakan dengan batasan sebagai berikut:

1. Tugas akhir menggunakan metode pengukuran titik kontrol GNSS metode statik moda jaring untuk mengumpulkan data.
2. Dalam tugas akhir ini, akan dilakukan pengolahan data titik kontrol yang diukur di lapangan. Proses ini melibatkan pemilihan data dari sistem GPS, GLONASS, dan BEIDOU yang kemudian akan diolah menggunakan tujuh strategi yang berbeda. Perbedaan strategi terletak pada konfigurasi satelit yang digunakan, yaitu:

- a. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + GLONASS + BEIDOU
 - b. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + GLONASS,
 - c. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + BEIDOU,
 - d. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GLONASS + BEIDOU
 - e. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS
 - f. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GLONASS
 - g. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit BEIDOU
3. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Hi-target Geomatics Office* (HGO) dan *Microsoft Excel* 2016.

1.5 Lokasi kegiatan

Lokasi tugas akhir berada di Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu, Desa Sukoharjo II, Provinsi Lampung.



Gambar.1 Lokasi Tugas Akhir

1.6 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Bab 1 pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan lokasi tugas akhir.
2. Bab 2 menjelaskan teori yang dasar yang berhubungan dengan laporan tugas akhir.
3. Bab 3 menjelaskan pelaksanaan kegiatan dalam tugas akhir.
4. Bab 4 menjelaskan tentang hasil dan pembahasan tugas akhir.
5. Bab 5 berisi penutup dan kesimpulan dari laporan tugas akhir.

II. TINJAUAN PUSTAKA

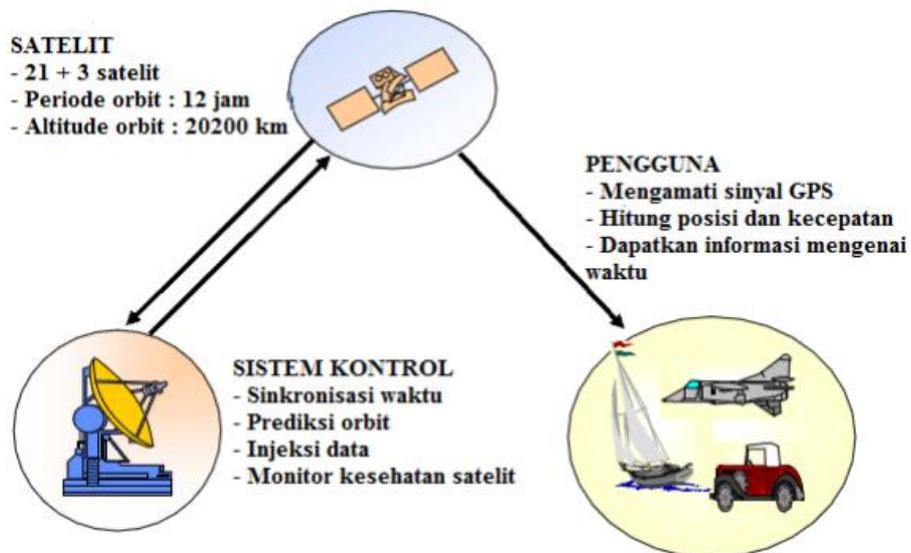
2.1 GNSS (*Global Navigation Satelit System*)

GNSS adalah sistem satelit yang mencakup konstelasi satelit dan berfungsi untuk menyediakan informasi waktu dan lokasi secara terus menerus di seluruh permukaan bumi. Sistem ini mengirimkan berbagai macam sinyal dalam berbagai frekuensi. GNSS memiliki peran yang sangat penting dalam bidang navigasi. Saat ini, terdapat beberapa sistem GNSS yang terkenal, seperti *Global Positioning System* (GPS) yang dimiliki oleh Amerika Serikat, *Global Navigation Satellite System* (GLONASS) yang dimiliki oleh Rusia, Galileo yang dimiliki oleh Uni Eropa, serta Compass/BEIDOU yang dimiliki oleh China. Selain itu, India dan Jepang juga telah mengembangkan kemampuan GNSS regional dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa, untuk memberikan tambahan cakupan regional (UNOOSA,2011).

GNSS yang paling terkenal saat ini adalah *Global Positioning System* (GPS). Sistem GPS, bersama dengan GLONASS, dan BEIDOU memiliki prinsip kerja yang hampir sama, sehingga deskripsi tentang cara kerja GPS dapat mewakili prinsip kerja GNSS secara umum. Dibandingkan dengan sistem dan metode penentuan posisi lainnya, GPS memiliki berbagai keunggulan dan memberikan sejumlah keuntungan yang lebih banyak. Hal ini berlaku baik dalam aspek operasional maupun kualitas posisi yang diberikan.

Secara mendasar, GPS terdiri dari tiga segmen utama. Pertama, segmen angkasa (*space segment*) terdiri dari kumpulan satelit GPS yang terletak di orbit. Kedua, segmen sistem kontrol (*control system segment*) terdiri dari stasiun pemantau dan pengendali satelit yang bertugas untuk memonitor dan mengontrol kinerja satelit. (Abidin, 2007).

Ketiga, segmen pemakai (*user segment*) melibatkan pengguna GPS yang menggunakan perangkat penerima untuk menerima dan memproses sinyal GPS guna menentukan posisi. GPS dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu *ground segment*, *space segment*, dan *user segment*. Ketiga segmen tersebut digambarkan secara skematik pada gambar dibawah ini (NovAtel Inc 2015) :



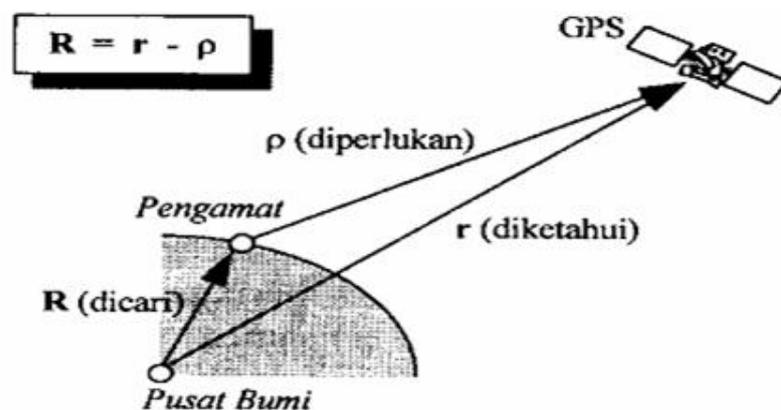
Gambar 2 Sistem Penentuan Posisi Global (Abidin,2007)

1. *Ground segment*, atau segmen kontrol, bertanggung jawab untuk meng-upload data ke satelit, melakukan sinkronisasi waktu di seluruh konstelasi satelit, melacak satelit di orbit, dan menentukan waktu.

2. *Space segment*, atau segmen antariksa, terdiri dari satelit-satelit GPS yang berada dalam enam orbit yang telah direncanakan. Untuk membentuk konstelasi penuh, sebanyak 24 satelit diperlukan, meskipun saat ini (Januari 2011) sudah tersedia 32 satelit yang aktif. Beberapa satelit mungkin tidak dapat digunakan dan dinyatakan tidak aktif sampai pemberitahuan lebih lanjut. Kode satelit digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan satelit-satelit tersebut di orbit.
3. *Segment User* terdiri dari penerima dan antena yang terhubung. Penerima ini digunakan untuk menerima dan membaca sinyal yang dikirim oleh satelit GPS. Sinyal-sinyal ini didekode untuk memberikan informasi tentang waktu, posisi, dan navigasi kepada pengguna.

2.2 Penentuan Posisi GPS

Konsep dasar penentuan posisi dengan GPS melibatkan penggunaan reseksi (pengikatan belakang) dengan jarak, yaitu dengan mengukur jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Secara vektor, prinsip dasar penentuan posisi dengan GPS dapat diilustrasikan dalam gambar di bawah ini. Pada konsep ini, parameter yang ingin ditentukan adalah vektor posisi *geosentrik* pengamat (R). Dalam hal ini, karena vektor posisi *geosentrik* satelit GPS (r) telah diketahui, yang perlu ditentukan adalah vektor posisi *toposentris* satelit terhadap pengamat (ρ) (Abidin, 2007).



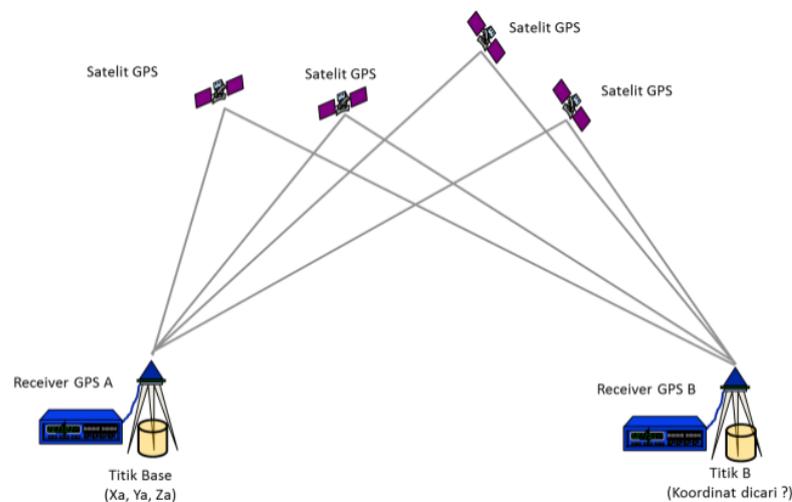
Gambar 3 Prinsip Dasar Penentuan Posisi Pendekatan Vektor (Abidin, 2007)

Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X, Y, Z atau ϕ, λ, h) yang dinyatakan dalam sistem referensi WGS-84. GPS dapat digunakan untuk menentukan posisi titik yang diam (*static positioning*) atau bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu *receiver* GPS terhadap pusat bumi dengan metode penentuan posisi *absolut*, atau terhadap titik lain yang telah diketahui koordinatnya (stasiun referensi) dengan menggunakan metode diferensial (relatif) yang memerlukan minimal dua *receiver* GPS. Selain itu, GPS memiliki kemampuan untuk memberikan posisi secara instan (*real-time*) atau setelah proses pengamatan dilakukan dengan lebih detail (*post-processing*) yang umumnya dilakukan untuk mencapai tingkat akurasi yang lebih tinggi.

2.3 Metode Statik Diferensial

GNSS dapat diaplikasikan secara absolut, yaitu metode penentuan posisi dengan hanya menggunakan satu *receiver* GNSS. Namun metode ini hanya menghasilkan ketelitian sekitar 3 hingga 10 m (Abidin, 2006). Ketelitian ini dapat diperbaiki dengan metode diferensial.

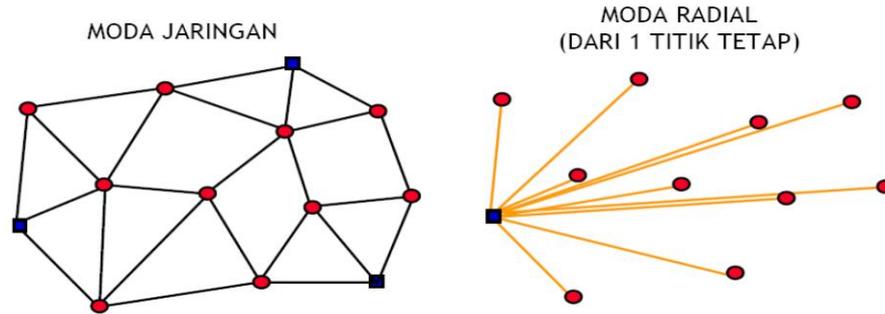
Pada penentuan posisi secara diferensial, posisi suatu titik (*rover*) ditentukan relatif terhadap titik lain yang koordinatnya sudah diketahui (stasiun referensi/*base*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Prinsip pengukuran metode statik diferensial

Pada metode diferensial, dilakukan pengurangan data yang diukur oleh dua *receiver* GNSS pada waktu yang bersamaan (*sinkron*) yang bertujuan untuk mengurangi dan menghapus beberapa jenis kesalahan dan bias data GPS. Pengurangan dan penghapusan kesalahan dan bias ini akan memperbaiki akurasi dan presisi data sehingga akan memperbaiki tingkat akurasi dan presisi posisi yang didapat dengan kisaran mm sampai dengan centimeter. Metode penentuan posisi secara diferensial statik adalah penentuan posisi titik-titik yang tetap (*statik*) dalam jangka waktu tertentu tergantung jarak antara *base* dan *rover* sehingga jumlah pengukuran lebih pada suatu titik pengamatan yang didapat dengan penentuan posisi statik biasanya lebih banyak. Hal ini menyebabkan tingkat ketelitian posisi yang didapat biasanya relatif tinggi (dapat mencapai orde mm).

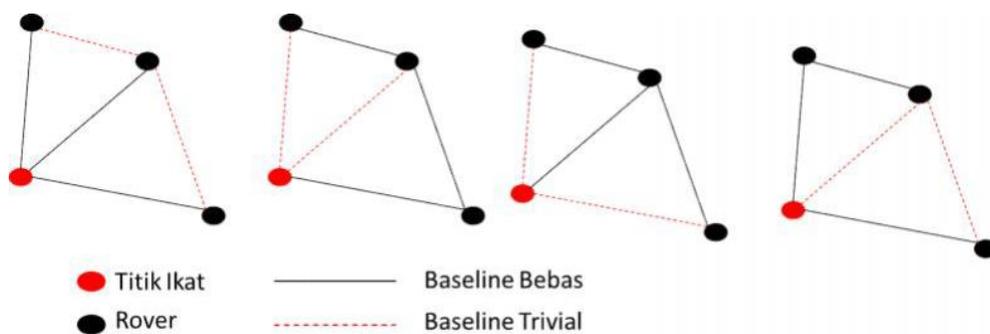
Pada dasarnya, Metode GPS *statik* dilakukan dengan menggunakan metode penentuan posisi statik secara diferensial dengan menggunakan data *fase*. Dalam hal ini pengamatan satelit GPS biasanya dilakukan *baseline* per *baseline* selama selang waktu tertentu (beberapa puluh menit sampai beberapa jam tergantung tingkat ketelitian yang diharapkan) dalam suatu jaringan (kerangka) dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya. Survei penentuan posisi dengan metode GPS statik dapat dilaksanakan dalam moda jaringan dan moda radial. Pemilihan kedua moda tersebut akan mempengaruhi ketelitian posisi titik yang didapat, waktu penyelesaian survei, serta biaya operasional survei. Moda radial biasanya menghasilkan tingkat ketelitian posisi yang rendah, namun waktu survei lebih singkat yang berdampak pada biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan dengan moda jaringan (Abidin, 2007).



Gambar 5 Moda jaringan dan moda radial (Abidin, 2006)

Dalam moda jaringan, perlu diperhatikan tentang *baseline* trivial. *Baseline* trivial adalah *baseline* yang bisa diturunkan dari *baseline* lainnya dari satu sesi pengamatan. *Baseline* yang bukan trivial disebut sebagai *baseline* bebas (*independent*). Pada satu sesi pengamatan, jika ada sejumlah n *receiver* yang beroperasi secara bersamaan, maka akan ada sebanyak $(n-1)$ *baseline* bebas yang bisa terdiri dari beberapa Konfigurasi. Set dari $(n-1)$ *baseline* bebas yang

akan digunakan bisa mempengaruhi kualitas dari posisi titik yang didapat. *Baseline* trivial dan *baseline* bebas jika digunakan empat *receiver* GPS secara bersamaan diilustrasikan pada gambar 6.



Gambar 6 Ilustrasi *Baseline* bebas dan trivial

Dalam pengolahan data, penggunaan *baseline* trivial tidak boleh disertakan. Oleh karena itu, jika ada *baseline* trivial saat pengamatan, pengukuran terhadap *baseline* tersebut harus diulang. Alasan untuk tidak menyertakan *baseline* trivial dalam pengolahan data adalah:

- a. Spesifikasi geometris jaring tidak terpenuhi.
- b. Informasi yang masuk ke dalam perataan jaringan menjadi berkurang.
- c. Tingkat ketelitian titik yang diperoleh secara teoritis akan menurun.
- d. Hasil perataan jaring tidak mencerminkan kondisi yang sebenarnya, atau dengan kata lain tidak realistis.
- e. Penggunaan *baseline* trivial dalam perataan jaringan dapat memberikan kesan presisi yang lebih tinggi dibandingkan kondisi sebenarnya.
- f. Tidak ada informasi tambahan yang dapat diperoleh dari *baseline* trivial, sehingga tingkat ketelitian titik yang diperoleh tidak akan berubah.
- g. Semakin banyak *baseline* yang terlibat, semakin bertambah beban pengolahan data.

Oleh karena itu, dalam metode jaringan, penggunaan *baseline* bebas yang relevan dan tidak ada *baseline trivial* dalam proses pengolahan data adalah penting untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil pengukuran.

2.4 Kesalahan Dan Bias Pengamatan

Pengamatan satelit GPS tidak dapat dihindari dari kesalahan dan bias yang disebabkan oleh berbagai faktor alam, peralatan, dan manusia. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghilangkan atau mengurangi dampak kesalahan dan bias dalam pengamatan, seperti memperkirakan parameter dari kesalahan dan bias dalam proses perataan, mereduksi data pengamatan, menghitung besarnya kesalahan dan bias melalui model atau secara langsung, menggunakan strategi pengamatan dan pengolahan data yang tepat, serta mengabaikan kesalahan dan bias tersebut (Rangga, 2011). Kesalahan dan bias dapat dikelompokkan menjadi: kesalahan *ephemeris* (orbit), bias ionosfer, bias troposfer, *multipath*, *ambiguitas fase* (*Cycle Ambiguity*), dan *Cycle Slips*.) (Rudianto dan Izman 2011).

1. Ketidak akuratan Orbit

Kesalahan *ephemeris* adalah perbedaan antara orbit aktual suatu satelit dengan orbit yang dilaporkan dalam data *ephemeris*. Dampaknya adalah akurasi koordinat titik-titik, baik absolut maupun relatif, menjadi terganggu. Terutama pada penentuan posisi relatif, kesalahan ini semakin signifikan dengan bertambahnya jarak antara titik pengamatan (*baseline*).

Penyebab kesalahan orbit satelit umumnya melibatkan tiga faktor utama:

- Ketidakakuratan dalam perhitungan orbit oleh stasiun pengontrol satelit.
- Kesalahan dalam prediksi orbit untuk periode setelah data diunggah ke satelit.
- Penerapan kesalahan orbit yang disengaja, yang dikenal juga sebagai Selective Availability.

2. Bias *Ionosfer*

Ionosfer adalah bagian *atmosfer* atas dengan ion bebas, berlokasi sekitar 20.000 km di atas bumi, yang memengaruhi gelombang sinyal satelit. Ion-ion bebas, termasuk elektron, dalam lapisan ini memengaruhi sinyal satelit seperti kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan. Pengaruh terbesar terjadi pada kecepatan sinyal, berdampak pada pengukuran jarak antara pengamat dan satelit.

3. Bias *Troposfer*

Troposfer adalah lapisan atmosfer netral yang berdekatan dengan permukaan Bumi dan temperaturnya berkurang seiring ketinggian. Ketebalannya antara 9-16 km. Sinyal GPS akan mengalami refraksi di lapisan ini, yang mengubah laju dan arah sinyal GPS. Efek utama troposfer adalah pada kecepatan, atau hasil ukuran jarak. *Pseudorange* dan fase menjadi lebih lambat di lapisan ini. Besarnya bias *troposfer* sama untuk kedua data pengamatan.

4. *Multipath*

Multipath adalah kesalahan yang muncul saat sinyal satelit mencapai antena penerima melalui dua atau lebih jalur yang berbeda. Dalam hal ini, satu sinyal adalah langsung dari satelit ke antena, sementara sinyal lainnya adalah hasil pantulan dari objek di sekitar antena. Objek-objek seperti jalan, gedung, danau, dan kendaraan bisa memantulkan sinyal, menciptakan jalur-jalur pantulan. Pantulan

bisa terjadi di bidang horizontal, vertikal, atau miring. Perbedaan panjang jalur ini mengakibatkan interferensi antara sinyal-sinyal saat mencapai antena, akhirnya mengakibatkan kesalahan dalam pengukuran.

5. *Cycle Slips*

Cycle slips adalah ketidak-kontinuitasan pada jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati. Penyebab *Cycle Slips* dapat beragam, seperti:

- Menyala-matikan receiver dengan sengaja.
- Sinyal satelit terhalang oleh berbagai hal, seperti bangunan, pohon, atau jembatan.
- Rasio sinyal-ke-noise rendah, yang bisa disebabkan oleh faktor seperti dinamika tinggi pada receiver, aktivitas ionosfer yang tinggi, atau multipath.
- Kerusakan komponen dalam receiver.

6. Ambiguitas Fase

Ambiguitas fase adalah gelombang penuh yang tidak diukur oleh receiver. Untuk menghitung jarak antara satelit dan antena, perlu menentukan nilai ambiguitas fase terlebih dahulu. Ambiguitas fase adalah bilangan bulat (kelipatan panjang gelombang). Ada tiga aspek utama yang perlu dipertimbangkan dalam menyelesaikan ambiguitas fase: menghilangkan kesalahan dan bias dalam data pengamatan, memperhatikan geometri satelit, dan menerapkan teknik resolusi ambiguitas.

7. *Selective Availability*

Selective availability adalah metode yang digunakan oleh militer Amerika Serikat untuk membatasi tingkat akurasi posisi GPS yang hanya tersedia bagi mereka dan pihak yang diizinkan. Metode ini melibatkan pengenalan sengaja kesalahan pada data *ephemeris* dan jam satelit. Koreksi terhadap kesalahan ini hanya diketahui oleh militer AS dan pihak yang diizinkan. Kebijakan *selective availability* dihapuskan oleh militer AS pada tahun 2000.

8. *Anti Spoofing*

Anti spoofing adalah langkah yang diambil oleh militer Amerika Serikat untuk mencegah penggunaan kode P yang diubah menjadi kode Y secara rahasia oleh pihak yang tidak berwenang. Struktur kode Y hanya diketahui oleh militer AS dan pihak yang diizinkan. Kehadiran *anti spoofing* membuat pengguna biasa hanya dapat menerima kode C/A.

2.5 GPS (*Global Positioning System*)

Global Positioning System (GPS) adalah sebuah sistem navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat dengan nama resmi NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System*). GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter hingga puluhan meter. Kelebihan sistem GPS antara lain dapat memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi waktu secara kontinu di seluruh dunia tanpa tergantung pada waktu dan cuaca. Penggunaan GPS dalam penentuan posisi relatif kurang dipengaruhi oleh kondisi topografis daerah survei dibandingkan dengan metode terestris. Posisi yang ditentukan dengan GPS selalu mengacu pada suatu datum global yang sama, dan sistem ini memberikan ketelitian posisi yang spektrumnya cukup luas. Penggunaannya juga gratis (Rudianto dan Izman 2011).



Gambar 7 Orbit Satelit GPS (Rudianto dan Izman 2011)

Sistem GPS terdiri dari tiga segmen utama: Segmen Angkasa (*Space Segment*) yang berisi satelit-satelit GPS, Segmen Sistem Kontrol (*Control System Segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pengamat dan pengendali satelit, serta Segmen Pengguna (*User Segment*) yang mencakup pemakai GPS termasuk alat penerima dan pengolah sinyal dan data GPS. (Rudianto dan Izman 2011) :

1. Segmen angkasa terdiri dari 24 satelit yang menempati 6 bidang orbit mendekati lingkaran dengan karakteristik orbit yang telah ditentukan. Satelit-satelit GPS dapat dibagi menjadi beberapa generasi, seperti Blok I, Blok II, Blok IIA, Blok IIR, dan Blok IIF.
2. Segmen sistem kontrol berfungsi untuk mengontrol dan memantau operasional satelit, termasuk menjaga agar satelit berada pada orbitnya masing-masing, memantau status dan kesehatan sub-sistem satelit, dan menjaga sistem waktu GPS. Segmen ini terdiri dari berbagai stasiun termasuk *Ground Antenna Stations (GAS)*, *Monitor Stations (MS)*, *Prelaunch Compatibility Station (PCS)*, dan *Master Control Station (MCS)*.
3. Segmen pengguna mencakup berbagai pengguna satelit GPS di darat, laut, udara, dan angkasa. Alat penerima sinyal GPS (*GPS receiver*) digunakan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari satelit GPS guna menentukan posisi, kecepatan, dan waktu.

2.6 GLONASS

Global navigation satellite system atau GLONASS adalah sistem satelit navigasi global milik Uni Soviet (Rusia) yang pengembangannya telah dimulai pada tahun 1976, GLONASS mulai beroperasi pada tahun 1991 walaupun pengembangan konstelasi secara penuh terselesaikan tahun 1996. Satelit GLONASS terdiri dari konstelasi 24 satelit, dan sekarang sedang berada dalam tahap *recovery* karena umur beberapa satelit telah berakhir dan tidak layak beroperasi, dari jumlah konstelasi satelit tersebut, untuk sementara 7 satelit telah dimatikan, dan 17 satelit telah beroperasi .

Sistem satelit ini berada dalam 3 bidang orbit dimana kedudukan satu satelit dengan satelit lainnya terpisah dengan jarak 1200. Satelit beroperasi pada ketinggian 19.100 Km di atas permukaan bumi dengan inklinasi 64.80 dan siklus perputaran satelit mengelilingi Bumi 11 jam 15 menit (Ristanto, 2018).

Stasiun pengendali GLONASS seluruhnya ditempatkan di Uni Soviet (Rusia). Pusat pengendalian di darat berlokasi di Moscow dan Stasiun *Telemetry* dan *tracking* yang disebut *Receiving Monitor Station* (RMS) berlokasi di St. Petersburg, Ternopol, dan Eniseisk. Satelit GLONASS dapat menyiarkan data melalui stasiun pengendali di darat, namun demikian, sistem satelit GLONASS belum mampu berdiri sendiri sebagai satelit penentuan posisi. Sistem satelit GLONASS belum mampu berdiri sendiri untuk penentuan posisi, sistem ini masih menggunakan sistem rangkap GPS+GLONASS dalam metode *Real Time Kinematics* GPS (RTK-GPS). Maksudnya, dalam penentuan posisi, sistem satelit GLONASS penggunaannya masih terintegrasi dengan satelit GPS, dan hal ini telah terbukti sangat menguntungkan untuk digunakan dalam suatu wilayah yang sulit dikover satelit (Bakara 2011).

2.7 BEIDOU

BEIDOU merupakan sistem satelit navigasi global yang dikembangkan oleh Cina. Sistem ini diimplementasikan dalam dua tahap, dimana tahap pertama beroperasi mulai Desember 2012 dengan cakupan regional untuk wilayah Asia Pasifik. Tahap pertama ini memiliki segmen angkasa dengan 5 satelit *Geostationary Earth Orbit* (GEO), 5 satelit *Geosynchronous Orbit* (IGSO), dan 4 satelit *Medium Earth Orbit* (MEO). Tahap kedua dari sistem BEIDOU direncanakan selesai pada akhir tahun 2020, dan akan menyediakan layanan cakupan global dengan peningkatan dari cakupan regional. Segmen angkasanya akan mencakup 5 satelit GEO, 3 satelit *Geosynchronous Orbit*, dan 27 satelit MEO. (IAC 2017)

BEIDOU menyediakan tiga jenis layanan (NovAtel Inc 2015) :

1. *Public Service*: Layanan ini bebas digunakan oleh warga sipil dan pengguna umum. Menyediakan akurasi posisi sekitar 10 meter, kecepatan akurasi hingga 0,2 meter per detik, dan akurasi waktu sekitar 10 nanosekon.
2. *Licensed Service*: Layanan berlangganan dengan akurasi penentuan posisi hingga 2 meter. Layanan ini juga menyediakan pesan singkat dua arah (120 karakter Cina) dan informasi status sistem.
3. *Restricted Military Service*: Layanan militer yang lebih akurat daripada layanan publik, dengan kemampuan komunikasi militer dan informasi status sistem.

Meskipun satelit BEIDOU dapat beroperasi sendiri, dalam penggunaannya, *receiver* harus mempertimbangkan bias antara jenis konstelasi satelit yang berbeda, seperti MEO, IGSO, dan GEO. Penggunaan satelit BEIDOU bersamaan dengan GPS memberikan hasil yang lebih baik dalam beberapa situasi karena beberapa alasan. Beberapa satelit GEO BEIDOU memiliki sudut elevasi terendah dan cenderung kehilangan sinyal lebih sering, sedangkan satelit IGSO BEIDOU memiliki kontinuitas yang lebih rendah dibandingkan dengan IGSO lainnya. Kesalahan ionosfir dan kesalahan jam BEIDOU juga lebih besar daripada GPS. Meskipun BEIDOU menyediakan pengukuran kode-fase yang lebih stabil daripada GPS, terkadang broadcast ephemeris BEIDOU tidak teratur, yang menyebabkan penggunaan konfigurasi satelit BEIDOU menjadi kurang optimal dan lebih disarankan untuk menggunakan satelit GPS dalam beberapa situasi (Shau dan An-Lin, 2016).

2.8 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan teknik pengukuran kesalahan yang melibatkan penjumlahan kuadrat dari selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Proses perhitungan RMSE melibatkan langkah-langkah berikut: setiap selisih dijumlahkan setelah dikuadratkan, hasilnya dibagi dengan jumlah total data, dan akar kuadrat dari nilai tersebut diambil .

$$\text{RMSE} = \left(\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \right)^{1/2}$$

Keterangan:

RMSE = nilai root mean square error

y = nilai hasil observasi

\hat{y} = nilai hasil prediksi

i = urutan data pada database

n = jumlah data

2.9 Standar Deviasi

Standar deviasi adalah suatu nilai statistik yang digunakan untuk mengukur sejauh mana data tersebar dalam suatu sampel dan seberapa dekat data-data tersebut dengan rata-rata sampel. Secara umum, standar deviasi membantu dalam menilai tingkat heterogenitas data dalam sebuah set data. Semakin besar perbedaannya dengan rata-rata, semakin heterogen data dalam populasi atau sampel tersebut.

Rumus standar deviasi dapat diartikan sebagai akar kuadrat dari variansi. Variansi, pada gilirannya, diperoleh dengan menghitung selisih antara setiap elemen data dan rata-rata data. Variansi ini kemudian dibagi menjadi dua jenis, yaitu variansi populasi (σ^2) dan variansi sampel (s^2). Hal ini berdampak pula pada standar deviasi, yang memiliki dua bentuk, yakni standar deviasi populasi (σ) dan standar deviasi sampel (s).

Rumus standar deviasi populasi tunggal adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Keterangan:

x_i = data ke-i

μ = mean data populasi

N = jumlah elemen data populasi

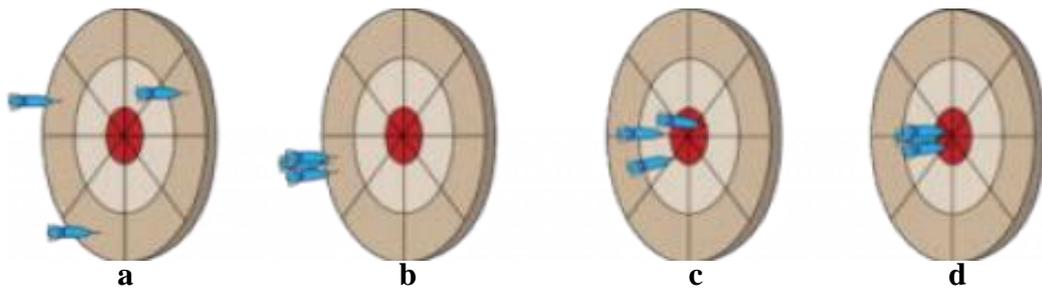
Dengan demikian, standar deviasi memberikan gambaran tentang sejauh mana data tersebar dalam suatu populasi atau sampel, memberikan wawasan tentang tingkat heterogenitas data yang ada.

2.10 Akurasi

Akurasi dalam pengukuran kesalahan menyoroti kemungkinan munculnya ketidakpastian baik dari faktor internal maupun eksternal. Untuk meminimalkan kesalahan-kesalahan ini, disarankan untuk melakukan pengukuran secara berulang. Selain itu, alternatif lainnya adalah menggunakan alat pengukur yang berbeda ketika melakukan pengukuran yang sama. Penting untuk diingat bahwa kepresisian sebuah alat ukur tidak selalu menjamin akurasi. Ini dikarenakan parameter yang diukur mungkin memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil yang diharapkan. Tingkat akurasi yang tinggi juga bisa saja hanya tercapai secara kebetulan, bukan sebagai indikator yang dapat diandalkan dalam suatu pengukuran. Oleh karena itu, diperlukan keakuratan dan ketepatan yang sesuai dengan standar yang benar.

2.11 Akurasi dan Presisi

Hubungan erat antara akurasi dan presisi dalam pengukuran menuntut pemahaman yang jelas terhadap keduanya. Ilustrasi anak panah di bawah ini memberikan gambaran tentang perbedaan konsep ini.



Gambar 8 Ilustrasi Perbedaan Akurasi dan Presisi (Budiyanto, Perbedaan Akurasi dan Presisi dalam Pengukuran)

Dalam gambar (a), hasil tembakan tersebar jauh dari titik merah, menandakan rendahnya tingkat presisi dan akurasi. Di gambar (b), posisi tembakan berdekatan, namun jauh dari titik merah, menunjukkan pengukuran yang tepat tetapi tidak akurat. Dalam kondisi laboratorium, tingkat presisi yang tinggi dengan akurasi rendah seringkali disebabkan oleh kesalahan sistematis, baik dari pengukur yang melakukan kesalahan berulang-ulang atau alat ukur yang mengalami cacat. Pengukuran yang tepat dan akurat dapat dicapai pada gambar (c) di mana posisi tembakan tidak berkumpul, tetapi umumnya berpusat di sekitar titik merah, menunjukkan presisi yang rendah tetapi akurasi yang tinggi. Pada gambar (d), hasil yang berkumpul dan menuju titik merah mencerminkan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi. Dalam praktik pengukuran, upaya selalu dilakukan untuk memaksimalkan kedua aspek, yakni akurasi dan presisi. Dari ilustrasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa akurasi mengindikasikan tingkat kesesuaian atau kedekatan hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya, sementara presisi mencerminkan tingkat keseragaman dalam suatu kelompok pengukuran atau alat ukur. Oleh karena itu, alat ukur yang presisi belum tentu memiliki akurasi yang tinggi, mengingat setiap pengukuran memiliki ketidakpastian yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor.

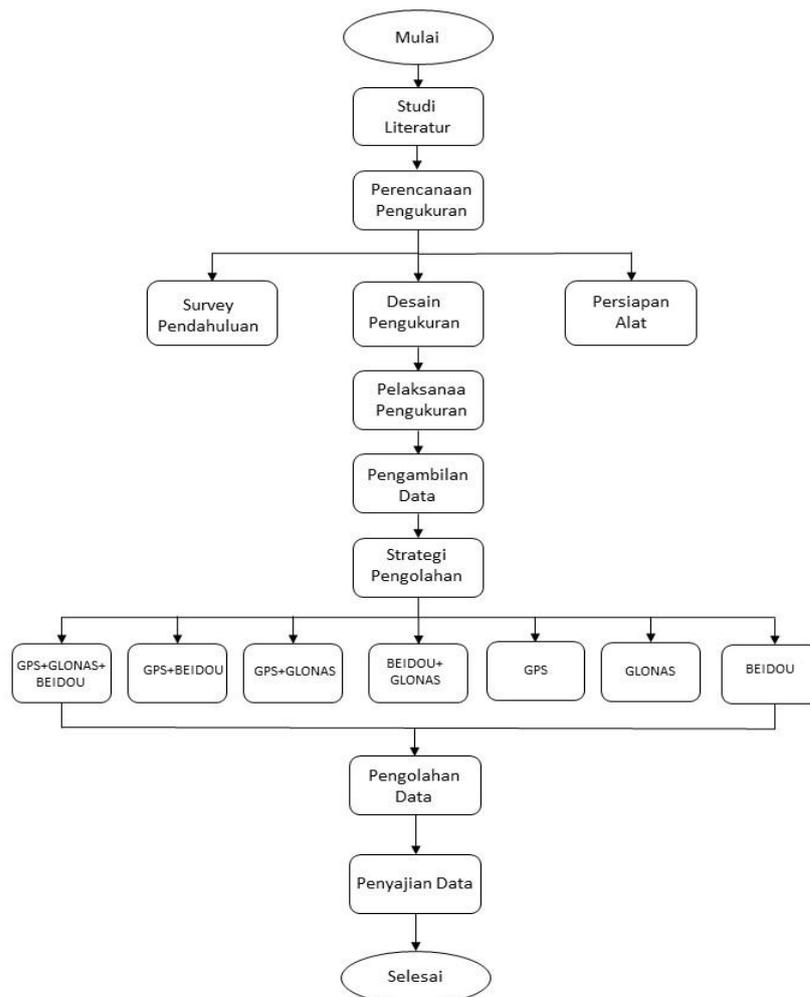
2.12 HGO (*Hi-Target Geomatics Office*)

HGO (*Hi-Target Geomatics Office*) adalah perangkat lunak yang disertakan sebagai software bawaan dalam alat GNSS *Hi-Target*. Fungsi HGO untuk mengolah data pengukuran yang diperoleh di lapangan. Pengolahan data dilakukan dengan tujuan mengurangi tingkat kesalahan atau error dari data tersebut, sehingga data yang dihasilkan dapat menjadi data acuan dalam proses selanjutnya. Dengan menggunakan HGO data yang telah diolah dapat digunakan sebagai referensi dalam pemodelan, pemetaan, atau analisis yang lebih lanjut.

III. PELAKSANAAN TUGAS AKHIR

3.1 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi tugas akhir ini adalah suatu rangkaian langkah-langkah atau tahapan yang meliputi persiapan awal hingga tahap akhir dalam pelaksanaan tugas akhir. Tahapan tersebut dapat dilihat secara ringkas pada gambar di bawah ini:



Gambar 9 Diagram Alir Tugas Akhir

3.2 Tahap persiapan

Tahap persiapan, sebagai langkah awal dalam tugas akhir ini, terdiri dari dua bagian penting yang harus dilakukan yaitu :

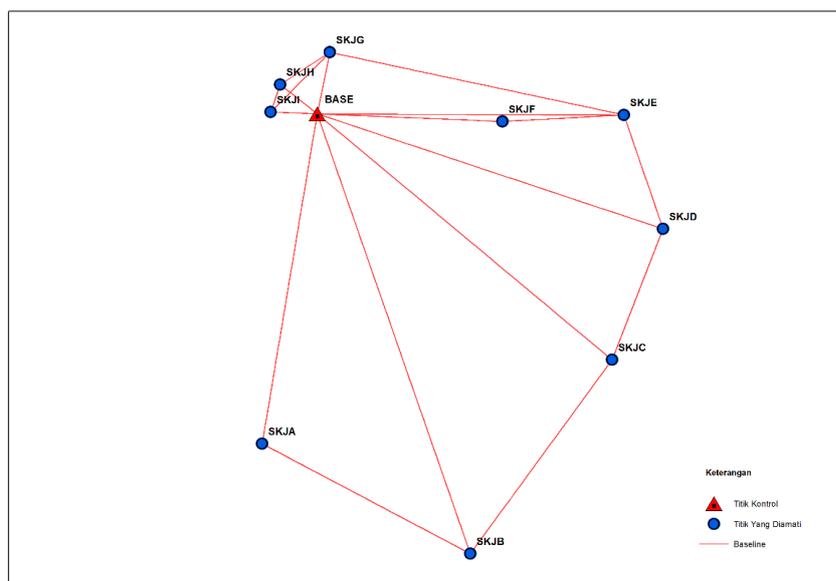
3.2.1 Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan dengan mencari sumber referensi yang relevan terkait dengan permasalahan yang diteliti. Sumber-sumber referensi tersebut dapat berupa jurnal online atau referensi cetak mengenai pengukuran G1 serta melalui akses ke situs web dan publikasi ilmiah online yang tersed internet.

3.2.2 Perencanaan Pengukuran

Pada tahap perencanaan pengukuran dilakukan pembuatan desain pengukuran GNSS Statik jaring.

1. Desain pengukuran Statik Jaring



Gambar 10 Desain Pengukuran Statik Jaring

Dalam penentuan posisi titik-titik, metode yang digunakan adalah Statik Jaring dengan menggunakan empat *receiver* GPS Geodetik, yaitu dua unit *Hi-target* V60 dan dua unit *Hi-target* V30. Pengukuran dilaksanakan di Desa Sukoharjo II Pringsewu Lampung, dan terdapat 18 *baseline* yang diukur dalam kegiatan ini. Titik ikat dengan koordinat yang telah diketahui digunakan sebagai referensi dalam pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 5. Setiap sesi pengukuran berlangsung selama 2 jam, sehingga untuk mengukur seluruh *baseline* dengan 4 *receiver* GPS, diperlukan 6 sesi pengukuran. Tabel 1 memberikan ilustrasi kegiatan pengukuran dengan metode Statik Jaring.

Table 1 Ilustrasi pengamatan Statik Jaring

SESI	RECEIVER				BASELINE DIUKUR	LAMA PENGAMATAN
	ALAT 1 HI- TARGET V60	ALAT 2 HI- TARGET V30	ALAT 3 HI- TARGET V60	ALAT 4 HI- TARGET V30		
1	BASE	SKJA	SKJB	SKJC	BASE-SKJA SKJA-SKJB SKJB-SKJC	2 JAM
2	BASE	SKJD	SKJB	SKJC	BASE-SKJB BASE-SKJC SKJC-SKJD	2 JAM
3	BASE	SKJD	SKJE	SKJC	BASE-SKJD SKJD-SKJE BASE-SKJE	2 JAM
4	BASE	SKJG	SKJE	SKJF	BASE-SKJF SKJF-SKJE SKJE-SKJG	2 JAM
5	BASE	SKJG	SKJH	SKJI	BASE-SKJG SKJG-SKJH SKJH-SKJI	2 JAM
6	BASE	SKJG	SKJH	SKJI	SKJG-SKJI BASE- SKJH BASE- SKJI	2 JAM

2. Survey Pendahuluan

Sebelum dilakukan pengukuran titik yang akan diamati, dilakukan survey lapangan atau mengecek sebaran titik kontrol di Sukoharjo 2 Pringsewu

Lampung. survei lapangan bertujuan untuk mengetahui kondisi titik yang akan diamati apakah memungkinkan untuk dilakukan pengamatan.

3. Persiapan Alat

Untuk mempersiapkan alat pengukuran penelitian, dilakukan pemeriksaan kelengkapan *receiver*. Mengecek fisik alat dan memeriksa fungsi tombol, layar, uji sinyal dan mode *receiver*. Berikut adalah beberapa perangkat lunak dan perangkat keras yang memberikan dukungan selama pembuatan tugas akhir:

a. Perangkat Keras

- *Receiver Hi-target V30*



Gambar 11 *Receiver Hi-target V30* (sumber: www.hitarget.ir)

- *Receiver Hi-target V60*



Gambar 12 *Receiver Hi-target V60* (sumber: www.hitarget.ir)

Table 2 Spesifikasi *Hi-target* V30 dan V60 (sumber: www.hitarget.ir)

Spesifikasi	HI TARGET V30	HI TARGET V60
Saluran GNSS	220	220
Sinyal satelit yang dilacak	GPS, GLONASS, SBAS, BDS, GALILEO, QZSS	GPS, GLONASS, SBAS, BDS, GALILEO, QZSS
Akurasi posisi statis	Horisontal: 2.5mm + 0.5ppm; Vertikal: 5mm + 0.5ppm	Horisontal: 2.5mm + 0.5ppm; Vertikal: 5mm + 0.5ppm
Akurasi posisi RTK	Horisontal: 8mm + 1ppm; Vertikal: 15mm + 1ppm	Horisontal: 8mm + 1ppm; Vertikal: 15mm + 1ppm
Waktu inisialisasi RTK	<10 detik	<10 detik
Jarak baseline RTK	<50 km	<50 km
Komunikasi nirkabel	UHF radio internal (410-470 MHz) atau eksternal (450-470 MHz); Bluetooth; Wi-Fi; Modem seluler (2G/3G/4G)	UHF radio internal (410-470 MHz) atau eksternal (450-470 MHz); Bluetooth; Wi-Fi; Modem seluler (2G/3G/4G)
Antarmuka I/O	Serial RS232; USB OTG; TNC untuk antena radio eksternal; SMA untuk antena seluler eksternal	Serial RS232; USB OTG; TNC untuk antena radio eksternal; SMA untuk antena seluler eksternal
Layar tampilan	OLED industri dengan resolusi 128x64 piksel	OLED industri dengan resolusi 128x64 piksel
Baterai	Baterai lithium-ion yang dapat dilepas, kapasitas 3400 mAh, durasi kerja hingga 10 jam, pengisian cepat dalam waktu 4 jam	Baterai lithium-ion yang dapat dilepas, kapasitas 5000 mAh, durasi kerja hingga 12 jam, pengisian cepat dalam waktu 3 jam

Spesifikasi	HI TARGET V30	HI TARGET V60
Ukuran fisik	198 mm x 98 mm x 45 mm (tanpa antena)	198 mm x 98 mm x 45 mm (tanpa antena)
Berat	<1 kg (dengan baterai)	<1 kg (dengan baterai)
Suhu operasi	-45°C hingga +65°C	-45°C hingga +65°C
Suhu penyimpanan	-55°C hingga +85°C	-55°C hingga +85°C
Kelembaban relatif	Hingga 100% tanpa kondensasi	Hingga 100% tanpa kondensasi
Tahan air dan debu	IP67 (tahan terhadap air hujan dan debu)	IP67 (tahan terhadap air hujan dan debu)

b. Perangkat Lunak

- Sistem Operasi *Windows 11*
- HGO (*Hi-target Geomatics Office*)
- *Microsoft Excel 2016*

3.3 Pelaksanaan Pengukuran

Pada tahap pelaksanaan pengukuran, metode jaring digunakan sebagai metode pengukuran GNSS statik. Metode statik jaring adalah metode dimana stasiun-stasiun yang diamati saling terhubung dengan *baseline* yang membentuk pola jaring. Pengukuran dilaksanakan pada tanggal 14 Juli 2022. Data direkam menggunakan *receiver Hi-target V60* dan *V30* yang memiliki kemampuan menangkap sinyal GPS, GLONASS, dan BEIDOU.

3.4 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data, dilakukan proses pengumpulan hasil pengukuran survey GNSS Statik Jaring menggunakan *receiver Hi-target V60* dan *V30*.

3.5 Strategi Pengolahan

Strategi pengolahan data dilakukan dengan memilih konfigurasi data GPS, GLONASS, dan BEIDOU, serta menerapkan tujuh strategi yang berbeda. Perbedaan antara strategi tersebut terletak pada konfigurasi satelit yang digunakan. Strategi-strategi tersebut adalah :

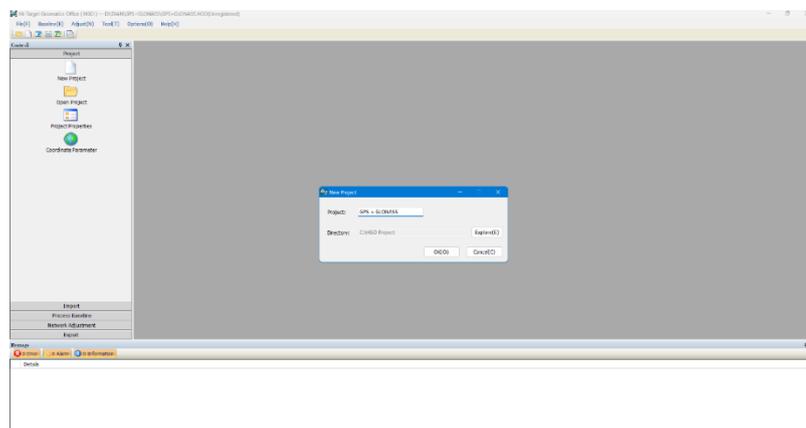
1. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + GLONASS + BEIDOU.
2. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + GLONASS.
3. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS + BEIDOU.
4. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GLONASS + BEIDOU.
5. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GPS.
6. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit GLONASS.
7. Menggunakan data konfigurasi sistem satelit BEIDOU.

3.6 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, digunakan software HGO (*Hi-Target Geomatic Office*) untuk melakukan proses analisis data yang telah diolah. Berikut ini adalah tahap-tahap pengolahan data dari tugas akhir ini yang akan diuraikan :

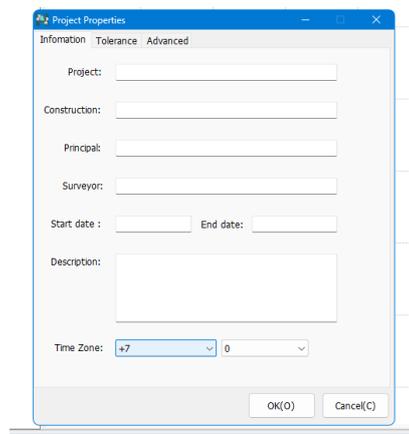
1. Persiapan Awal

- Membuat "*Project*" Baru Di Software HGO.



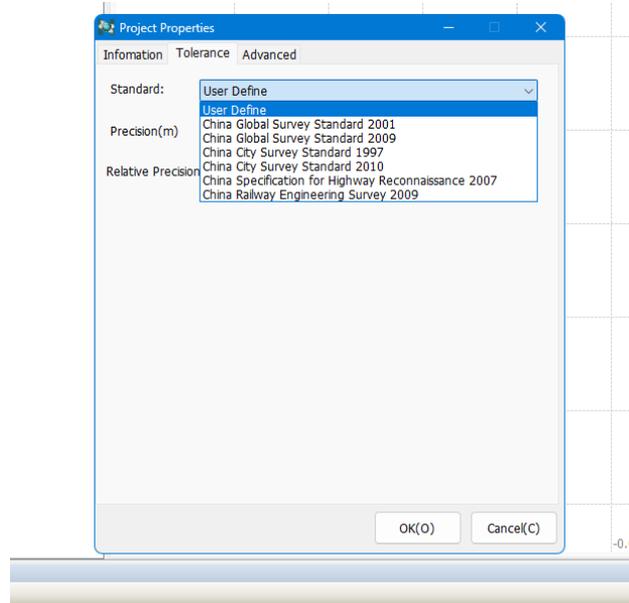
Gambar 13 Membuat "*Project*" Baru

- Atur zona waktu "*project*" menjadi sesuai dengan lokasi di Desa Sukoharjo 2 Pringsewu Lampung.



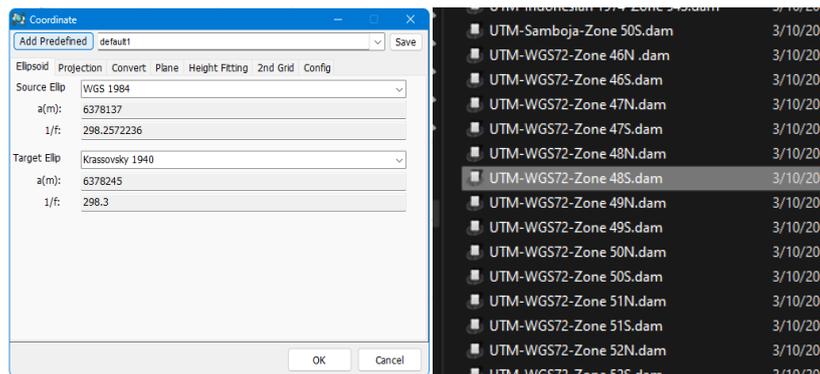
Gambar 14 Mengatur zona waktu "*project*"

- Pilih "Tolerance" dan ubah dari "Standard" menjadi "User Define", lalu atur toleransi sesuai kebutuhan.



Gambar 15 Memilih "Tolerance"

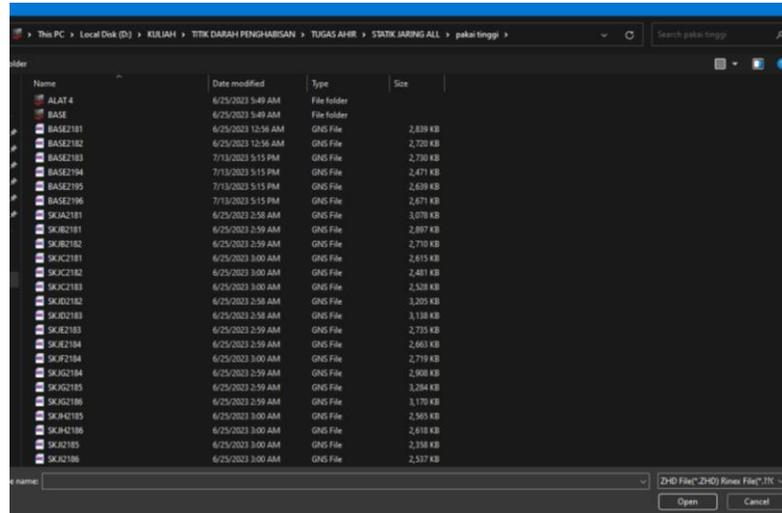
- Pilih sistem koordinat yang sesuai pilih "Add predefined" untuk mengatur koordinat sistem, misalnya UTM atau geografis, serta elipsoid yang sesuai, seperti WGS 1984.



Gambar 16 Memilih sistem koordinat

2. Import Data GNSS

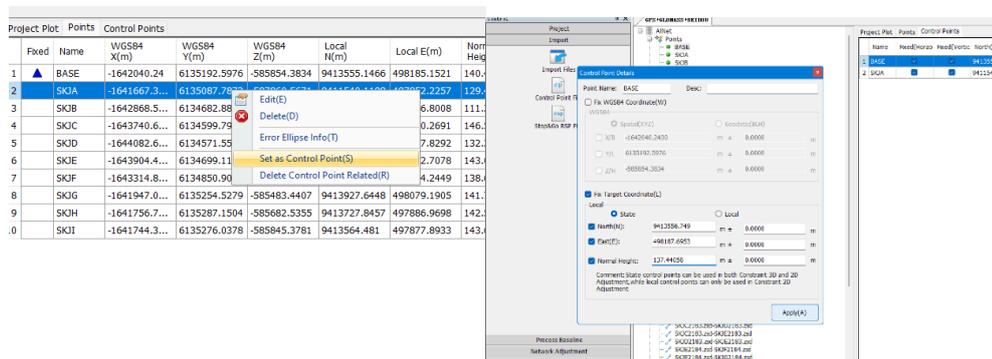
- Klik "Import" → "Import File" → "Select File" dan pilih data GNSS yang akan diolah. Pastikan data sudah sesuai format yang didukung oleh HGO (misalnya *RINEX*).



Gambar 17 Import Data GNSS

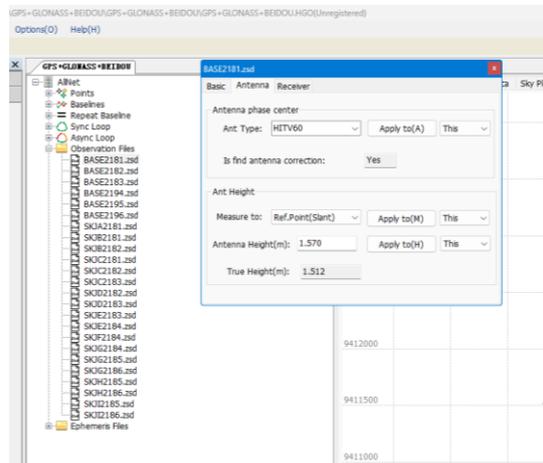
3. Menentukan Titik Kontrol (*Base Station*)

- Pilih titik yang akan digunakan sebagai titik kontrol (*base station*). Dalam kasus ini, BASE dan SKJA adalah titik ikat. "Set as Control Point" → untuk memasukan Koordinat titik ikat pilih "Edit"



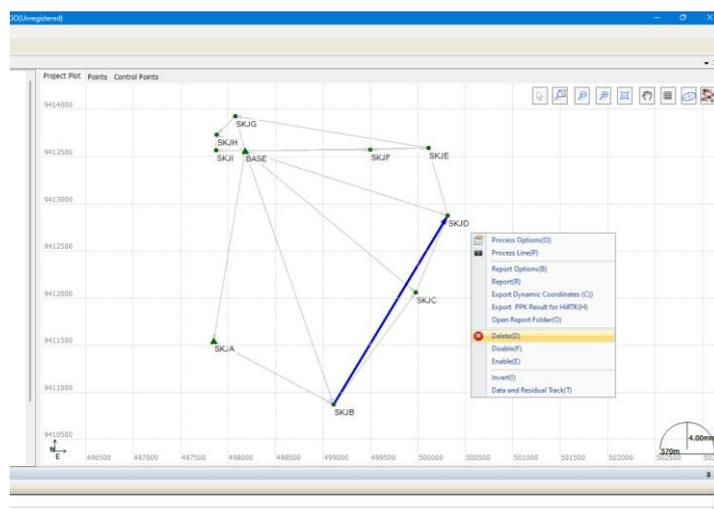
Gambar 18 Mengatur Titik Kontrol dan Memasukan Tinggi Alat Base

- Memasukan tinggi alat, klik pada titik BASE dan SKJA, lalu pilih "*Observation*" Files, Klik kanan pada Base dan SKJA pilih "*Edit*" untuk mengubah informasi tinggi antenna pada masing-masing titik.



Gambar 19 Memasukan Tinggi Alat Base

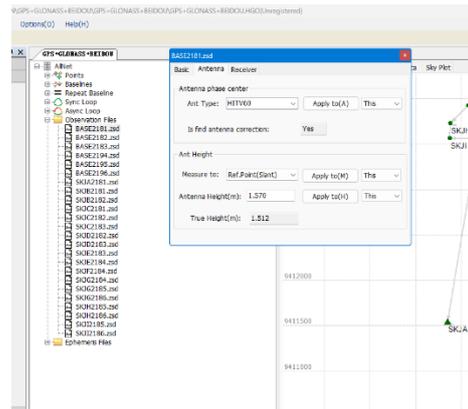
- Pada tahap ini memilih *baseline* bebas dan menghapus *baseline* yang *Trivial*. Dalam pengolahan data, *baseline trivial* tidak harus dimasukkan. Oleh karena itu, jika ada *baseline trivial* dalam pengamatan, *baseline* tersebut akan diabaikan atau tidak dipertimbangkan dalam proses pengolahan data. Klik kanan pada *baseline* yang akan dihapus pilih "*Delete*"



Gambar 20 Menghapus Baseline Trivial

4. Menentukan Titik Yang Akan Diamati (*Rover*)

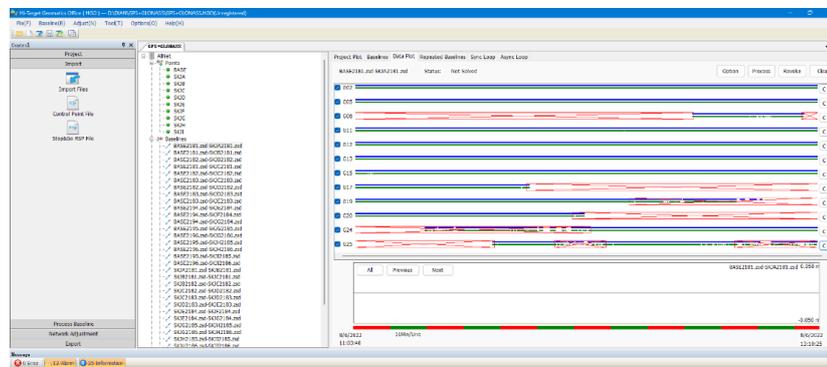
Tentukan titik yang akan diamati (*rover*) sesuai desain jaringan yang telah dibuat. Klik pada titik SKJB, SKJC, SKJD, SKJE, SKJF, SKJG, SKJH, dan SKJI, lalu pilih "*Observation Files*" klik kanan dan pilih "*Edit*" untuk mengubah informasi tinggi antenna pada setiap titik yang akan diamati, dan atur Atur tinggi antenna pada masing-masing titik yang akan diamati.



Gambar 21 Memasukan Tinggi Alat *Rover*

5. Koreksi sinyal GNSS

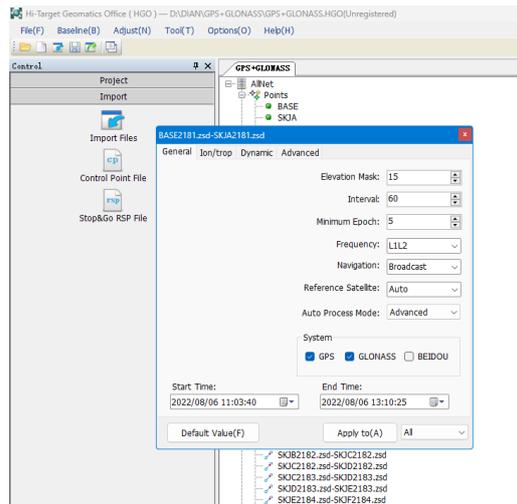
- Dalam proses pengolahan statik pada *software* HGO dapat dilihat *residual* sinyal yang diterima alat. Disini dapat dilakukan editing pada gelombang sinyal yang tidak utuh atau terpotong. Proses editing ini menjadi bagian penting pengolahan dan koreksi data.



Gambar 22 Proses Koreksi Data Sinyal Satelit

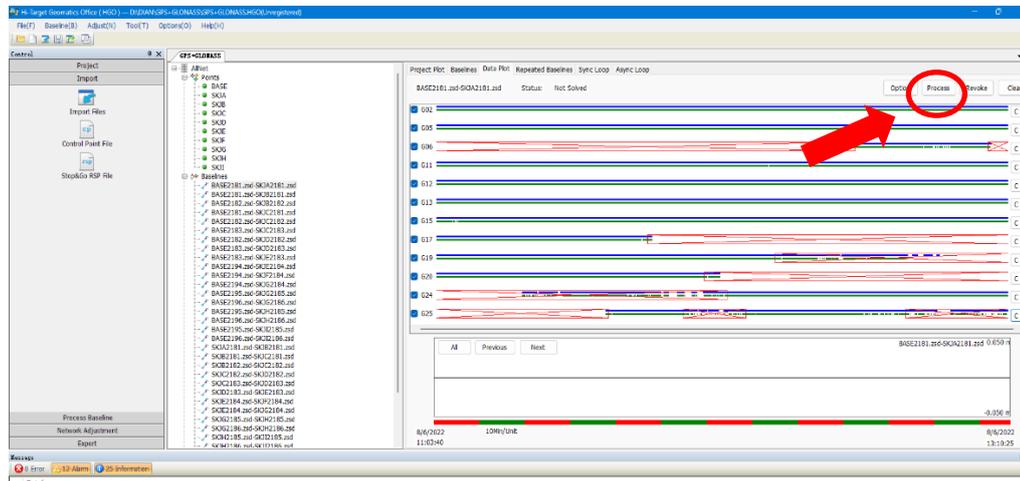
6. *Post-processing* dan *Adjustment*

- Dalam proses pengolahan data GNSS statik, dapat memilih sistem satelit yang ingin digunakan. Sebagai contoh, ingin menggunakan konfigurasi GPS + GLONASS, dan pastikan hanya data dari satelit GPS dan GLONASS yang akan di *Post-processing*. Selanjutnya, lakukan *Adjustment* GNSS dengan menggunakan konfigurasi satelit yang telah dipilih.



Gambar 23 Memilih Sistem Satelit

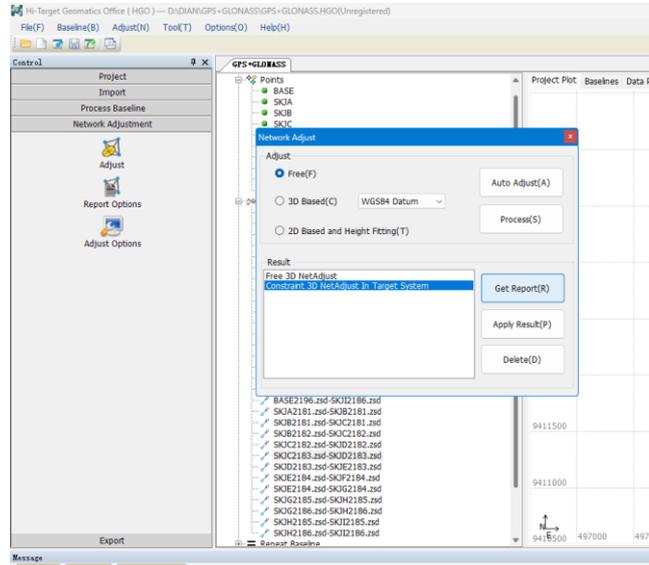
- Melakukan *Post-processing* pada setiap *baseline* pilih tombol "*process*".



Gambar 24 *Post-processing*

7. Report Data

- Setelah melakukan tahap *Post-processing* selesai, melakukan *Report* .
Berikut hasil pengolahan :



Gambar 25 Report Data

8. Adjusted Points in WGS84(BLH)						
Station Name	Lat.	Lon.	H(m)	Std.Dev_N(mm)	Std.Dev_E(mm)	Std.Dev_U(mm)
BASE	005:18:20.10174S	104:59:01.11720E	137.4406	0.0	0.0	0.0
SKJA	005:19:25.72661S	104:58:50.29678E	126.5684	0.0	0.0	0.0
SKJB	005:19:47.58411S	104:59:31.37299E	106.4190	3.5	4.2	6.7
SKJC	005:19:08.91772S	104:59:59.43570E	143.1321	4.3	5.2	8.4
SKJD	005:18:42.43742S	105:00:10.22639E	141.9832	4.0	6.0	7.8
SKJE	005:18:19.09490S	105:00:03.70055E	135.0134	2.0	2.6	3.8
SKJF	005:18:19.61120S	104:59:43.89380E	135.2672	2.9	3.9	5.6
SKJG	005:18:07.97091S	104:58:57.57297E	140.7285	1.4	2.2	3.5
SKJH	005:18:14.53467S	104:58:51.27520E	138.3128	2.3	3.1	5.5
SKJI	005:18:19.87131S	104:58:50.97408E	138.3720	2.5	4.0	6.0

9. Adjusted Points in Target System(NEZ)						
Station Name	N(m)	E(m)	U(m)	Std.Dev_N(mm)	Std.Dev_E(mm)	Std.Dev_U(mm)
BASE	9413556.7490	498187.6953	137.4406	0.0	0.0	0.0
SKJA	9411541.6990	497854.7259	126.5684	0.0	0.0	0.0
SKJB	9410870.5827	499118.9475	106.4190	3.5	4.2	6.7
SKJC	9412057.8572	499982.6323	143.1321	4.3	5.2	8.4
SKJD	9412870.9457	500314.7465	141.9832	4.0	6.0	7.8
SKJE	9413587.6883	500113.8962	135.0134	2.0	2.6	3.8
SKJF	9413571.8336	499504.2807	135.2672	2.9	3.9	5.6
SKJG	9413929.2286	498078.6001	140.7285	1.4	2.2	3.5
SKJH	9413727.6797	497884.7714	138.3128	2.3	3.1	5.5
SKJI	9413563.8157	497875.5885	138.3720	2.5	4.0	6.0

Gambar 26 Hasil Pengolahan

3.7 Penyajian Data

Setelah melalui proses pengolahan data, langkah selanjutnya adalah menyajikan data dengan hasil-hasil yang telah diperoleh. Dalam tahap penyajian data, akan menampilkan hasil pengolahan data GNSS menggunakan aplikasi HGO (*Hi-Target Geomatic Office*) dengan berbagai konfigurasi sistem satelit. Berikut adalah ringkasan dari hasil penyajian data:

1. Hasil Pengolahan Koordinat dan Standar Deviasi:

Pada tahap ini, akan disajikan hasil pengolahan data GNSS dengan aplikasi HGO (*Hi-Target Geomatic Office*) dengan menggunakan berbagai konfigurasi sistem satelit. Hasil pengolahan data ini berupa nilai koordinat dan standar deviasi hasil pengolahan data untuk setiap titik kontrol dan setiap konfigurasi sistem satelit.

2. Hasil dan Pembahasan Standar Deviasi:

Pada tahap ini, akan disajikan hasil dan pembahasan standar deviasi hasil pengolahan data GNSS dengan menggunakan berbagai konfigurasi sistem satelit. Hasil dan pembahasan ini juga dapat memberikan rekomendasi tentang konfigurasi sistem satelit mana yang paling optimal untuk digunakan dalam pengolahan data GNSS.

3. Hasil dan Pembahasan Nilai RMS Hasil:

Pada tahap ini, akan disajikan hasil dan pembahasan nilai RMS hasil pengolahan data GNSS dengan menggunakan berbagai konfigurasi sistem satelit. Hasil dan pembahasan ini dapat memberikan informasi tentang perbedaan posisi yang dihasilkan oleh sistem satelit yang digunakan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil tugas akhir dan perbandingan akurasi pengolahan data GNSS dengan berbagai konfigurasi sistem satelit, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan strategi 6 menggunakan konfigurasi GLONASS menghasilkan tingkat RMSE horizontal paling tertinggi, yaitu 0.0065 m. Ini menunjukkan bahwa GLONASS secara individual memberikan tingkat akurasi yang lebih buruk dibandingkan dengan konfigurasi atau sistem lainnya.
2. Penggunaan strategi 3 menggunakan konfigurasi GPS + BEIDOU menghasilkan tingkat RMSE horizontal paling rendah, yaitu 0.0004 m. Penggunaan strategi 3 menghasilkan kinerja paling baik dalam meramalkan posisi horizontal, hal ini memberikan tingkat akurasi yang sangat tinggi dibandingkan dengan konfigurasi atau sistem lainnya.
3. Penggunaan strategi 6 GLONASS menghasilkan tingkat RMSE vertikal paling tertinggi, yaitu 0.028. Ini menunjukkan bahwa GLONASS memberikan tingkat akurasi yang lebih rendah dalam menentukan posisi vertikal dibandingkan dengan kombinasi atau sistem lainnya.
4. Penggunaan strategi 3 GPS + BEIDOU menghasilkan tingkat RMSE vertikal paling rendah, yaitu 0.001. Hal ini menunjukkan bahwa gabungan kedua sistem ini memberikan tingkat akurasi yang sangat tinggi dibandingkan dengan konfigurasi atau sistem lainnya.
5. Dalam pembahasan nilai standar deviasi terbesar didapatkan dengan penggunaan konfigurasi GLONASS pada titik SKJC dengan nilai standar deviasi untuk sumbu N 0.022, sumbu E 0.027 m dan sumbu U 0.043 m.

6. Dalam pembahasan nilai standar deviasi terkecil didapatkan dari penggunaan sistem GPS + GLONASS + BEIDOU, GPS + GLONASS, dan GPS + BEIDOU pada titik SKJE dan SKJG. dengan nilai standar deviasi untuk sumbu N 0.002, sumbu E 0.003 m dan sumbu U 0.004 m.

5.2.Saran

Berdasarkan hasil tugas akhir, ada beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut dalam penggunaan GNSS dan pengolahan data posisi:

1. Dalam aplikasi yang membutuhkan akurasi tinggi, direkomendasikan untuk menggunakan konfigurasi sistem satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU + GLONASS + BEIDOU. Konfigurasi tersebut memberikan akurasi ter dalam pengolahan data GNSS.
2. Tugas akhir lebih lanjut tentang sistem-sistem satelit GNSS lainnya, seperti GALILEO (milik Uni Eropa), juga dapat memberikan wawasan tambahan tentang opsi sistem satelit yang lebih luas bagi aplikasi GNSS di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). Penentuan posisi dengan GPS dan aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2018). Pengaruh Geometri Jaringan Terhadap Ketelitian Survey GPS.
- Bakara, J. (2011). Perkembangan sistem satelit navigasi global dan aplikasinya. *Berita Dirgantara*, 12(2), 38-47.
- Budyanto. (2014). Perbedaan akurasi dan presisi dalam pengukuran . Sridianti <http://www.sridianti.com/wp-content/uploads/2014/05/papan-dart-400x151.png>, diakses pada 01 Januari 2024 pukul 09.30 WIB
- Hi-target. (n.d.). Receiver Hi-target V30. Diakses dari pada tanggal 2 Juli 2023.
- IAC. (2017). BEIDOU navigation satellite system. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing.
- NovAtel Inc.2015. An Itrouduction to GNSS. Calgary. NovAtel Inc
- Ramadhon, S. (2015). Analisis ketelitian data pengukuran menggunakan GPS dengan metode diferensial statik dalam moda jaring dan radial. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 5(2).

- Ristanto, W. (2018). Analisis akurasi penentuan posisi Receiver Hi Target V30 berdasarkan penggunaan satelit GPS, GLONASS, dan BEIDOU.
- Rudianto, B., & Izman, Y. (2011). Analisis komparatif ketelitian posisi titik hasil pengukuran dari satelit GPS dan satelit GLONASS. *Jurnal Geodesi Undip*, 1(1), 1-10.
- Sari, R. (2023). Pengertian variasi deviasi standart serta dapat menentukan variasi dan deviasi standart. *Jurnal Matematika*, 7 (1), 12-18.
- Setiadi, Hadi. (2023). Analisis Peramalan dengan Metode MAPE. Jakarta: Deepublish.
- Shau-Shiun Jan dan An-lin Tao (2005). Comprehensive comparisons of satellite data, signals, and measurement between the BEIDOU navigation satellite system and global positioning system. *Sensors*, 5(6), 267-288. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883380/>. Diakses pada tanggal 17 April 2023.
- UNOOSA. (2011). 10 years of Achievement of the United Nations on Global Navigation Satellite Systems. *Unoosa*, 14(7), 246–247. Diakses pada tanggal 17 April 2023.