

**PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN BEDA TINGGI ALAT GNSS
GEODETIC DAN GNSS *LOW COST***

(Tugas Akhir)

Oleh

**MUHAMMAD AL-FATH WIRA YUDHA
NPM 2105061009**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN BEDA TINGGI ALAT GNSS
GEODETIC DAN GNSS *LOW COST***

Oleh

MUHAMMAD AL-FATH WIRA YUDHA

Tugas Akhir

Sebagai Salah satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

AHLI MADYA

Pada

Jurusan Teknik Survey Dan Pemetaan

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN BEDA TINGGI ALAT GNSS *GEODETIC* DAN GNSS *LOW COST*

Oleh

MUHAMMAD AL-FATH WIRA YUDHA

Perkembangan teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS) telah meningkatkan efisiensi dalam kegiatan survei dan pemetaan, khususnya pada pengukuran posisi dan ketinggian. Dalam pengukuran vertikal, metode *leveling* menggunakan *waterpass* sebagai acuan utama karena ketelitiannya yang tinggi, meskipun membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih besar. Oleh karena itu, GNSS *Low Cost* mulai dimanfaatkan sebagai alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran beda tinggi dan tinggi *orthometrik* menggunakan GNSS *Geodetic* (*Hi-Target V60*) dan GNSS *Low Cost* (*eGNSS 757*) dengan metode RTK-NTRIP, serta mengevaluasi tingkat ketelitiannya terhadap pengukuran *waterpass*.

Penelitian dilakukan pada sembilan titik benchmark di Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung dengan kondisi topografi relatif terbuka. Data diperoleh dari proses pengukuran GNSS dan *waterpass*. Perhitungan dilakukan dengan menghitung selisih tinggi *orthometrik* pada setiap titik BM, menganalisis beda tinggi antar titik, serta menguji tingkat ketelitian menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan nilai LE90 sebagai indikator.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa GNSS *Low Cost* memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan GNSS *Geodetic*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai selisih tinggi yang lebih kecil, yaitu 0,005 m–0,084 m, serta rata-rata beda tinggi yang lebih mendekati hasil pengukuran *waterpass*. Selain itu, nilai RMSE sebesar 0,047 m dan LE90 sebesar 0,078 m yang lebih rendah menunjukkan bahwa GNSS *Low Cost* memberikan hasil yang lebih akurat pada penelitian ini.

Kata kunci: GNSS, *Low Cost*, Beda Tinggi, RTK-NTRIP, RMSE

ABSTRACT

COMPARISON OF THE RESULTS OF MEASUREMENT OF DIFFERENCE IN HEIGHT OF GEODETIC GNSS AND LOW COST GNSS INSTRUMENTS

by

MUHAMMAD AL-FATH WIRA YUDHA

The development of Global Navigation Satellite System (GNSS) technology has increased efficiency in surveying and mapping activities, especially in position and elevation measurements. In vertical measurements, the leveling method using a waterpass is the main reference due to its high accuracy, although it requires more time and effort. Therefore, Low Cost GNSS has begun to be used as an alternative. This study aims to compare the results of height difference and orthometric height measurements using Geodetic GNSS (Hi-Target V60) and Low Cost GNSS (eGNSS 757) with the RTK-NTRIP method, as well as to evaluate their accuracy compared to waterpass measurements. The research was conducted at nine benchmark points in the Integrated Field of the Faculty of Agriculture, University of Lampung, with relatively open topographic conditions. Data were obtained from GNSS and waterpass measurement processes. Calculations were performed by determining the orthometric height difference at each benchmark point, analyzing the height difference between points, and testing accuracy using Root Mean Square Error (RMSE) and LE90 values as indicators. The results show that Low Cost GNSS has better accuracy than Geodetic GNSS. This is indicated by a smaller height difference, namely 0.005 m–0.084 m, as well as an average height difference that is closer to the waterpass measurement results. In addition, the lower RMSE value of 0.047 m and LE90 value of 0.078 m indicate that Low Cost GNSS provides more accurate results in this study.

Keywords: GNSS, Height Difference, Low Cost, RTK-NTRIP, RMSE

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : **PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN BEDA
TINGGI ALAT GNSS *GEODETIC* DAN GNSS
*LOW COST***

Nama Mahasiswa : MUHAMMAD AL-FATH WIRA YUDHA

Nomor Pokok Mahasiswa : 2105061009

Jurusan : Teknik Survey dan Pemetaan

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I Pembimbing II

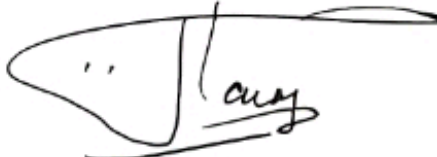
 

Atika Sari, S.T., M.T. Rahma Anisa, S.T., M.Eng.

NIP. 199204062022032007 NIP. 199307162020122032

MENGETAHUI

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM.
NIP. 196410121992031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Atika Sari, S.T., M.T.



Sekretaris : Rahma Anisa, S.T., M.Eng



Penguji Utama Bukan Pembimbing : Safri Yanti Rahayu, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001



Tanggal Lulus Ujian : 30 April 2026

SURAT PERNYATAAN

Penulis dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis di dalam tugas akhir ini merupakan hasil karya penulis berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Tugas akhir ini berisi material yang penulis buat sendiri dan tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka tugas akhir.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan kesadaran penuh dan tidak dalam keterpaksaan dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka penulis siap mempertanggung jawabkannya.

Bandar Lampung, April 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Al-Fath Wira Yudha

NPM 2105061009

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Al Fath Wira Yudha, dilahirkan di Kotabumi, Kabupaten Lampung Utara, pada tanggal 17 Januari 2003. Penulis merupakan anak ke-1 dari 4 bersaudara, dari pasangan Aswin Badrun dan Ira Tariyana.

Penulis memulai pendidikan awal pada jenjang Taman Kanak-Kanak di TK Dharma Wanita Kotabumi. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 2 Kotabumi Tengah hingga tahun 2015. Pendidikan menengah pertama ditempuh di SMP Negeri 3 Kotabumi dan lulus pada tahun 2018, kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 3 Kotabumi dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Diploma III (D3) Survey dan Pemetaan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan, penulis memperoleh pengetahuan dan keterampilan di bidang survei dan pemetaan melalui perkuliahan, praktikum, dan praktik lapangan. Pada Juni 2024, penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pagar Alam sebagai bentuk penerapan ilmu yang telah dipelajari. Selain itu, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Geodesi (HIMAGES) Periode 2023 sebagai Kepala Departemen Multimedia dan Informasi.

Penulis mulai melaksanakan dan menyusun Tugas Akhir sebagai tahap akhir dari pendidikan Program Studi Diploma III Survey dan Pemetaan guna memperoleh gelar Ahli Madya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang survei dan pemetaan.

PERSEMBAHAN



Karya ini penulis persembahkan sebagai hasil dari proses yang telah dilalui selama menempuh pendidikan. Penyusunan Tugas Akhir ini menjadi bagian dari perjalanan belajar yang penuh dengan pengalaman, tantangan, dan pembelajaran berharga.

Persembahan ini penulis sampaikan dengan penuh rasa terima kasih kepada kedua orang tua, Ibu Ira Tariyana dan Ayah Aswin Badrun serta keluarga yang selalu memberikan dukungan, perhatian, dan kepercayaan kepada penulis dalam setiap langkah yang ditempuh.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada sahabat dan teman-teman, yang telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan, berbagi cerita, saling membantu, serta memberikan dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

MOTTO

“Maka ingatlah kepada-Ku, Aku pun akan mengingatmu.”

(QS. Al-Baqarah: 152)

“Sesungguhnya Allah mencintai amal yang dilakukan terus-menerus walaupun sedikit.”

(HR. Bukhari-Muslim)

"It always seems impossible until it's done."

(Nelson Mandela)

SANWACANA

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan Rahmat dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERBANDINGAN PENGUKURAN BEDA TINGGI ALAT GNSS *GEODETIC* DAN GNSS *LOW COST*”**. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Tugas Akhir bagi mahasiswa Program Studi D3 Teknik Survey dan Pemetaan Universitas Lampung. Penyusunan Tugas Akhir ini selesai dengan baik berkat peran serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang ditunjukkan kepada :

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Universitas Lampung.
3. Ibu Atika Sari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.
4. Ibu Rahma Anisa, S.T., M,Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir.
5. Ibu Safri Yanti Rahayu, ST., MT. yang berkenaan menjadi dosen penguji dan memberikan kritik dan saran pada Tugas Akhir ini.
6. Seluruh staff Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika yang telah membantu dan memberikan pengarahan dalam proses kepengurusan berkas perkuliahan.
7. Kedua orang tua tercinta, Ibu Ira Tariyana, S.E. dan Ayah Aswin Badrun, S.Sos., beserta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, serta dukungan baik secara moral maupun materi.

8. Teman-teman Teknik Geodesi dan Geomatika angkatan 2021 yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan, yang telah banyak membantu penulis baik melalui saran, motivasi, maupun kebersamaan hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
9. Semua pihak yang telah memberi dorongan, dukungan dan bimbingan dalam membantu penyelesaian Tugas Akhir.
10. Kepada Tamara, penulis mengucapkan terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan perhatian yang telah diberikan selama proses ini. Terima kasih telah hadir dalam berbagai momen, baik suka maupun duka, serta menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Penulis mendoakan semoga selalu diberikan kebahagiaan di mana pun berada, dan semoga dapat meraih kesuksesan bersama di masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan belum sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap laporan ini dapat menjadi sumber referensi yang bermanfaat serta menambah wawasan bagi para pembaca. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas perhatian, dukungan, dan kontribusi dari semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Bandar Lampung, April 2026

Penulis

Muhammad Al-Fath Wira Yudha

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|------------|
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.3 Ruang Lingkup | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i> | 5 |
| 2.2 <i>GNSS Geodetic (Hi-Target V60)</i> | 6 |
| 2.3 <i>GNSS Low Cost</i> | 7 |
| 2.4 <i>Waterpass</i> | 8 |
| 2.5 Pengukuran Elevasi..... | 9 |
| 2.6 Metode RTK-NTRIP..... | 10 |
| 2.7 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i> | 11 |
| 2.8 Ketinggian <i>Orthometrik</i> | 11 |
| 2.9 Ketinggian <i>Elipsoid</i> | 13 |
| 2.10 Linear Error 90%..... | 13 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 14 |
| 3.2 Diagram Alir | 15 |
| 3.3 Data dan Alat..... | 16 |
| 3.3.1 Data..... | 16 |
| 3.3.2 Alat | 16 |
| 3.4 Tahap Persiapan | 17 |
| 3.5 Tahapan Pengukuran | 17 |
| 3.5.1 Pengukuran <i>Leveling</i> | 17 |
| 3.5.2 Pengukuran GNSS (<i>Geodetic dan Low Cost</i>)..... | 18 |
| 3.6 Tahap Pengolahan | 18 |
| 3.6.1 Data Elevasi | 19 |
| 3.6.2 Konversi Tinggi <i>Elipsoid</i> keTinggi <i>Orthometrik</i> | 19 |
| 3.6.3 Perbandingan Tinggi dengan Data <i>Waterpass</i> | 20 |
| 3.6.4 Perhitungan Beda Tinggi | 21 |

| | |
|---|-----------|
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 23 |
| 4.1 Hasil Pengukuran Tinggi <i>Orthometrik</i> | 23 |
| 4.2 Perbandingan Tinggi <i>Orthometrik GNSS</i> terhadap <i>Waterpass</i> | 24 |
| 4.3 Beda Tinggi Antar Titik | 25 |
| 4.4 Uji Ketelitian Vertikal Menggunakan RMSE dan LE90..... | 28 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 30 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 30 |
| 5.2 Saran..... | 30 |
| DAFTAR PUSTAKA | 32 |
| LAMPIRAN A..... | 34 |
| LAMPIRAN B..... | 38 |
| LAMPIRAN C..... | 44 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 1. Koordinat BM | 16 |
| 2. Alat Penelitian | 16 |
| 3. Tinggi <i>elipsoid</i> alat GNSS <i>Geodetic</i> dan GNSS <i>Low Cost</i> | 19 |
| 4. Perhitungan Tinggi GNSS Terhadap Waterpass | 20 |
| 5. Pengolahan Beda Tinggi GNSS..... | 21 |
| 6. Pengolahan Beda Tinggi Alat Waterpass | 22 |
| 7. Hasil Pengukuran Tinggi Orthometrik Alat GNSS..... | 23 |
| 8. Selisih Tinggi Alat GNSS <i>Geodetic</i> Terhadap Waterpass | 24 |
| 9. Selisih Tinggi Alat GNSS <i>Low Cost</i> Terhadap Waterpass | 25 |
| 10. Selisih Beda Tinggi Alat GNSS <i>Geodetic</i> Terhadap Waterpass | 26 |
| 11. Selisih Beda Tinggi Alat GNSS <i>Low Cost</i> Terhadap Waterpass | 27 |
| 12. Analisis RMSE GNSS <i>Geodetic</i> | 28 |
| 13. Analisis <i>RMSE GNSS Low Cost</i> | 28 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Alat GNSS HI-Target (V60) | 7 |
| 2. Alat EGNSS <i>Low Cost</i> (757)..... | 8 |
| 3. Lokasi Penelitian | 14 |
| 4. Diagram Alir Penelitian..... | 15 |
| 5. Nilai Undulasi dari Web SRGI..... | 20 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi *survey* dan pemetaan saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya dengan hadirnya sistem *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Teknologi GNSS memungkinkan pengukuran posisi, baik secara *horizontal* maupun *vertikal* yang dilakukan dengan efisien dan cakupan area yang luas tanpa bergantung pada garis antar titik. Sistem ini dapat menjadi alternatif utama dalam berbagai kegiatan *survey* geodesi, pemetaan topografi, dan rekayasa sipil karena mampu menghasilkan data posisi yang akurat serta dapat diintegrasikan dengan berbagai sistem informasi geospasial.

Menurut (Anjasmara dkk., 2016) *receiver* GNSS kelas profesional seperti *Hi-Target V60* mampu memberikan akurasi *horizontal* dan akurasi *vertikal* dalam mode pengamatan RTK. Teknologi ini memanfaatkan sinyal dari berbagai satelit buatan seperti *GPS*, *GLONASS*, *Galileo*, dan *BeiDou* untuk memperoleh posisi tiga dimensi yang teliti. Dengan kemampuan multi-konstelasi dan multi-frekuensi, *Hi-Target V60* banyak digunakan dalam survei teknik sipil dan pemetaan topografi. Namun demikian, harga perangkat GNSS profesional relatif tinggi sehingga tidak semua instansi atau lembaga pendidikan memiliki akses terhadap peralatan tersebut.

Salah satu solusi atas keterbatasan tersebut, saat ini mulai banyak dikembangkan GNSS *Low Cost* yang memiliki harga jauh lebih terjangkau. Perangkat GNSS *Low Cost* umumnya menggunakan chipset satelit tunggal atau ganda dengan antena yang lebih sederhana, namun tetap mampu melakukan pengukuran posisi dengan tingkat

ketelitian yang cukup baik. Pada penelitian (Hadi, 2019) menunjukkan bahwa GNSS *Low Cost* memiliki tingkat ketelitian posisi antara 0,109 m hingga 1,135 m tergantung pada kondisi lingkungan dan metode pengolahan data. Meskipun demikian, kemampuan GNSS *Low Cost* untuk menghasilkan nilai tinggi yang presisi masih perlu diuji lebih lanjut, terutama dalam konteks pengukuran beda tinggi dan tinggi *orthometrik*.

Konteks pengukuran yang dilakukan secara *vertical*, GNSS pada dasarnya menghasilkan nilai tinggi *ellipsoid* (h), sedangkan dalam survei seperti sipat datar (*waterpass*), tinggi yang diperoleh adalah tinggi *orthometrik* (H) yang mengacu pada permukaan geoid. Untuk mengonversi tinggi *ellipsoid* menjadi tinggi *orthometrik* diperlukan informasi undulasi geoid (N). Dalam pengukuran ini, tantangan yang muncul adalah ketepatan model geoid yang digunakan, karena model geoid global belum cukup akurat untuk wilayah lokal di Indonesia (Rastawira dkk., 2013).

Perbandingan antara GNSS kelas profesional dan GNSS *Low Cost* dalam pengukuran tinggi menjadi hal yang penting untuk diketahui, terutama dalam menentukan tingkat akurasi dan ketelitian hasil pengukuran beda tinggi. Dalam beberapa penelitian, *receiver* GNSS profesional seperti *Hi-Target V60* terbukti memberikan hasil yang stabil dan konsisten dalam penentuan tinggi *ellipsoid*, sedangkan GNSS *Low Cost* cenderung lebih dipengaruhi oleh kualitas antena, waktu pengamatan, dan gangguan multipath (Hadi, 2019).

Namun, penelitian di Indonesia sejauh ini masih terbatas dalam membandingkan hasil pengukuran beda tinggi antara GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost*, terutama dalam pengukuran *vertikal* terhadap metode referensi seperti *waterpass*. Metode *leveling* dianggap sebagai acuan dalam penentuan beda tinggi karena ketelitiannya yang tinggi, terutama untuk jarak pendek hingga menengah. Oleh karena itu, perbandingan antara hasil beda tinggi GNSS *Hi-Target V60*, GNSS *Low Cost* (eGNSS757) dan hasil *leveling* perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perangkat GNSS *Low Cost* dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengukuran *vertikal* di lapangan. Berdasarkan latar belakang diatas, maka muncul pertanyaan

“Bagaimana perbedaan hasil beda tinggi dari pengukuran GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost* serta berapa selisih nilai tinggi *orthometrik* dan tingkat ketelitiannya?”

Tugas akhir ini dilakukan di Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang merupakan salah satu area dengan kondisi topografi yang bergelombang dan terbuka, sehingga cocok untuk pengujian akurasi GNSS dalam penentuan beda tinggi. Melalui tugas akhir ini, diharapkan dapat diketahui tingkat akurasi hasil beda tinggi antara GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost*, serta besarnya selisih nilai tinggi *orthometrik* dan tingkat ketelitiannya.

Hasil tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai GNSS *Low Cost* dalam pengukuran beda tinggi, serta menjadi bahan pertimbangan bagi akademisi dan praktisi survey pemetaan dalam memilih peralatan sesuai kebutuhan dan tingkat ketelitian yang diharapkan. Selain itu, penelitian ini juga dapat mendukung pengembangan metode survey murah dan efisien di lingkungan pendidikan, terutama bagi institusi yang memiliki keterbatasan peralatan profesional namun tetap memerlukan data akurat dalam kegiatan praktikum maupun penelitian terapan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut;

1. Mengetahui hasil pengukuran beda tinggi antara GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost* dalam metode RTK-NTRIP.
2. Mengetahui selisih nilai tinggi *orthometrik* alat GNSS *Geodetic*, GNSS *Low Cost* dan tingkat ketelitiannya dengan alat *Waterpass* sebagai perbandingan.

1.3 Ruang Lingkup

Untuk menyusun urutan terstruktur dari tugas akhir, maka ruang lingkup Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut

1. Tugas Akhir ini dilakukan di Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang memiliki kondisi area topografi yang relatif bergelombang dan terbuka, dengan 9 titik BM.
2. Tugas Akhir ini membandingkan akurasi pengukuran beda tinggi antara alat GNSS *Geodetic (Hi-Target)* dan alat GNSS *Low Cost (eGNSS 757)* dengan metode RTK-NTRIP terhadap hasil pengukuran menggunakan alat *waterpass* metode *double stand* sebagai acuan.
3. Pengolahan data ketinggian dilakukan melalui konversi dari tinggi *elipsoid* ke tinggi *orthometrik* dengan data undulasi geoid berdasarkan inageoid 2020.
4. Analisis data dilakukan dengan penghitungan *Root Mean Square Error (RMSE)* sebagai parameter statistik untuk mengukur hasil tinggi GNSS terhadap data *waterpass*.

1.4 Manfaat Penelitian

Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah wawasan dalam bidang survei dan pemetaan, khususnya terkait pemanfaatan teknologi *Global Navigation Satellite System (GNSS)* dalam pengukuran beda tinggi, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Secara praktis, penelitian ini memberikan informasi mengenai tingkat ketelitian GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost* dibandingkan metode *waterpass*, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode berdasarkan aspek ketelitian, efisiensi waktu, dan biaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Global Navigation Satellite System (GNSS)*

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan teknologi penentuan posisi yang saat ini menjadi metode paling unggul untuk kegiatan survei dan pemetaan bidang tanah. GNSS mampu memberikan ketelitian posisi hingga milimeter untuk sumbu horizontal (X, Y), ketelitian waktu dalam nanodetik, dan kecepatan dalam sentimeter per detik. Ketelitian ini sangat dipengaruhi oleh faktor seperti metode penentuan posisi, geometri satelit, jenis alat, durasi pengamatan, serta gangguan dari atmosfer dan multipath. Oleh karena itu, GNSS menjadi solusi ideal untuk pemetaan yang cepat dan presisi tinggi (Marbawi dkk., 2015).

GNSS memiliki jaringan CORS (*Continuously Operating Reference Station*) yang berperan penting dalam meningkatkan akurasi GNSS, karena menyediakan data koreksi posisi yang dapat diakses oleh *rover* GNSS di lapangan. Dengan memanfaatkan koreksi CORS, metode RTK dapat mencapai akurasi sentimeter secara *real-time*, sedangkan *post-processing* mampu mencapai presisi sub-sentimeter, menurut (Ichsan, dkk 2020).

GNSS bekerja dengan prinsip mengukur jarak dari *receiver* ke beberapa satelit yang posisinya diketahui. Setiap waktu pengukuran GNSS menentukan empat parameter, yaitu tiga koordinat (X, Y, Z) dan satu kesalahan waktu yang dijelaskan oleh (Marbawi dkk., 2015). Untuk mendapatkan hasil yang akurat, diperlukan minimal empat satelit dalam pengukuran. Selain itu, data GNSS dapat diproses secara *real-time* menggunakan metode seperti RTK (*Real Time Kinematic*), atau dengan *post-processing* untuk meningkatkan akurasi. Kemajuan dalam metode komunikasi data GNSS memberikan layanan koreksi langsung melalui jaringan CORS

(*Continuously Operating Reference Station*). Data GNSS dapat diolah secara *real-time* melalui metode RTK atau secara *post-processing* untuk meningkatkan akurasi. Metode *Network RTK* memberikan keunggulan dibandingkan *single-base RTK* karena mengurangi pengaruh jarak antara *rover* dan stasiun referensi, sehingga ketelitian posisi tetap terjaga pada *baseline* yang lebih panjang (Bagus dkk., 2015).

2.2 GNSS Geodetic (*Hi-Target V60*)

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan sistem penentuan posisi berbasis satelit yang mampu memberikan informasi koordinat secara akurat di permukaan bumi dengan memanfaatkan sinyal dari berbagai konstelasi seperti GPS, GLONASS, Galileo, dan BeiDou. Perkembangan teknologi GNSS saat ini telah mengarah pada penggunaan multi-konstelasi dan multi-frekuensi yang mampu meningkatkan ketelitian hingga orde sentimeter, khususnya dengan metode *Real Time Kinematic* (RTK) menurut (Abidin, 2007). Salah satu perangkat GNSS yang banyak digunakan dalam kegiatan survei dan pemetaan adalah GNSS *Hi-Target V60*, yaitu receiver geodetik yang dirancang untuk pengukuran presisi tinggi baik secara statik maupun RTK. Alat ini mampu melacak sinyal multi-konstelasi dengan jumlah kanal yang besar sehingga meningkatkan ketersediaan satelit dan kualitas solusi posisi.

Inti dari perangkat ini adalah kemampuannya melacak hingga 1408 saluran (pada versi terbaru), yang secara agresif menangkap sinyal dari seluruh konstelasi utama dunia, termasuk GPS, GLONASS, Galileo, dan BeiDou. Dengan dukungan Multi-Frequency (L1, L2, L5), V60 mampu mengeliminasi gangguan atmosfer dengan sangat cepat, menghasilkan akurasi horizontal hingga 8 mm pada mode RTK (Reza N., 2019). Selain itu, perangkat ini mendukung komunikasi data melalui jaringan CORS (*Continuously Operating Reference Station*) dan radio internal, serta mampu menyimpan data dalam format standar seperti RINEX yang memudahkan proses pengolahan data lebih lanjut, oleh (Ulinuha dkk., 2013).

Keunggulan GNSS *Hi-Target* V60 terletak pada kemampuannya dalam memberikan hasil pengukuran yang cepat, akurat, dan stabil di berbagai kondisi lapangan. Dukungan multi-konstelasi memungkinkan peningkatan jumlah satelit yang diamati sehingga memperkuat geometri pengamatan dan mengurangi kesalahan akibat multipath. Selain itu, penggunaan metode RTK berbasis jaringan (NTRIP) juga meningkatkan efisiensi pengukuran karena tidak memerlukan base station sendiri, menurut (Reza N, 2019). Dengan desain yang tangguh dan fitur operasional yang mudah digunakan, GNSS *Hi-Target* V60 menjadi salah satu perangkat yang efektif untuk mendukung kegiatan survei geodesi dan pemetaan modern menurut (Winaya ., dkk 2017).



Gambar 1. Alat GNSS *HI-Target* (V60)

Sumber: (Phalosa dkk, 2023)

2.3 GNSS *Low Cost*

Teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) telah berkembang pesat dengan munculnya perangkat compact presisi tinggi seperti GeoPen HEXA. Perangkat ini dikategorikan sebagai Smart Antenna yang dirancang khusus untuk kebutuhan Mobile GIS dan survei pemetaan berbasis Android. Berbeda dengan GNSS Geodetik konvensional yang memiliki dimensi besar, GeoPen HEXA mengintegrasikan antena dan modul penerima dalam satu unit ringkas yang mengandalkan konektivitas Bluetooth untuk berkomunikasi dengan perangkat kontroler/*smartphone*.

Secara teknis, GeoPen HEXA didukung oleh modul GNSS frekuensi tinggi (seperti seri u-blox M8P) yang Melacak frekuensi penuh (L1, L2, L5) pada semua konstelasi utama (GPS, BDS, GLONASS, Galileo, QZSS). Keunggulan utama alat ini terletak pada kemampuannya

melakukan penentuan posisi fase dengan metode *Real-Time Kinematic* (RTK). Dalam operasionalnya, GeoPen HEXA memanfaatkan protokol Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP) untuk menerima data koreksi dari stasiun referensi atau jaringan CORS (*Continuously Operating Reference Stations*) melalui koneksi internet pada smartphone. Spesifikasi frekuensinya sudah mencakup Triple-Frequency (L1, L2, L5) Integrasi ini memungkinkan alat mencapai tingkat ketelitian posisi hingga 2,5 cm (sentimeter) pada kondisi fix, yang sangat memadai untuk aplikasi pendaftaran tanah (PTSL), pemetaan aset utilitas, maupun survei perkebunan.

Dalam implementasi lapangan, GeoPen HEXA umumnya dipasangkan dengan perangkat lunak pengumpulan data seperti Apglos Survey Wizard. Sinergi antara perangkat keras GeoPen HEXA dan perangkat lunak tersebut memungkinkan pengguna untuk melakukan konfigurasi akun NTRIP, pemantauan status satelit, hingga manajemen data ukur dalam format digital (DXF/CSV) secara langsung dan real-time. Penggunaan teknologi *Low Cost* GNSS seperti GeoPen HEXA menjadi solusi efisien yang menjembatani celah antara GPS navigasi genggam yang kurang akurat dengan GNSS Geodetik industri yang berbiaya tinggi, namun tetap mempertahankan standar ketelitian yang dibutuhkan dalam survei pemetaan modern.



Gambar 2. Alat EGNSS *Low Cost* (757)

Sumber: (Penulis, 2025)

2.4 *Waterpass*

Waterpass adalah salah satu alat ukur penting dalam survei tanah yang digunakan untuk menentukan perbedaan elevasi antara dua titik secara akurat. *Waterpass* banyak digunakan dalam pengukuran *longitudinal section* pada infrastruktur jalan.

Alat ini bekerja dengan prinsip pembacaan benang tengah dari lensa objektif terhadap rambu ukur yang diletakkan di titik-titik pengamatan. Keakuratan pembacaan sangat dipengaruhi oleh teknik penggunaan alat, seperti perlindungan terhadap sinar matahari agar tidak terjadi kesalahan pembacaan. Dengan penggunaan yang tepat, *waterpass* dapat menghasilkan data ketinggian yang presisi untuk kebutuhan perencanaan dan konstruksi (Ridwan dkk., 2023).

Dalam pengukuran, *waterpass* digunakan untuk menentukan beda tinggi dan elevasi antar titik berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Menurut Ridwan dkk., 2023 proses ini melibatkan pembacaan benang atas, tengah, dan bawah dihitung untuk mendapatkan jarak optis dan perbedaan ketinggian. Dengan menghitung selisih antara bacaan benang tengah belakang (BT_{blk}) dan bacaan benang tengah muka (BT_{mka}) dengan rumus:

$$\Delta h = BT_{blk} - BT_{mka} \dots\dots\dots(1)$$

Namun, akurasi hasil pengukuran sangat bergantung pada ketelitian pembacaan dan pengendalian faktor eksternal, seperti pencahayaan berlebih.

2.5 Pengukuran Elevasi

Pengukuran elevasi adalah proses penentuan beda tinggi antara dua atau lebih titik di permukaan bumi terhadap bidang referensi tertentu. Menurut (Latif dkk., 2024) pengukuran elevasi dilakukan dengan menetapkan sebuah datum atau bidang acuan datar, seperti rata-rata muka air laut (MSL) untuk mengukur tinggi atau rendahnya suatu titik terhadap bidang tersebut. Nilai beda tinggi antara titik-titik ini akan digunakan untuk berbagai kebutuhan perencanaan dan pembangunan infrastruktur. Metode pengukuran elevasi sangat beragam, mulai dari teknik barometrik hingga penggunaan instrumen optik seperti *waterpass*. Setiap metode dipilih berdasarkan tingkat ketelitian yang diperlukan dan efisiensi pelaksanaannya.

Menurut (Parasu, 2023) elevasi diperoleh dengan mengukur beda tinggi menggunakan dua metode yaitu metode sipat datar memakai *waterpass* dan metode

trigonometris menggunakan total station. Pengukuran sipat datar dinilai lebih teliti dalam menentukan tinggi suatu titik, sehingga sering dijadikan sebagai acuan dalam membandingkan ketelitian hasil pengukuran elevasi.

Selain metode sipat datar, teknologi modern juga menawarkan alternatif seperti penggunaan GPS untuk pengukuran elevasi, meskipun ketelitiannya metode optik untuk beberapa aplikasi tertentu. (Latif dkk., 2024) menekankan bahwa dalam memilih metode pengukuran elevasi, perlu mempertimbangkan faktor ketelitian, efisiensi waktu, ketersediaan alat, serta biaya. Pelatihan keterampilan menggunakan alat ukur seperti waterpass menjadi penting agar mahasiswa dan praktisi konstruksi mampu menghasilkan data elevasi yang akurat.

2.6 Metode RTK-NTRIP

Metode RTK-NTRIP (*Real Time Kinematic - Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) merupakan teknologi pemetaan berbasis GNSS yang memungkinkan penentuan posisi secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi. Menurut (Ramadhon, 2020) RTK-NTRIP menggunakan jaringan internet untuk menghubungkan stasiun referensi CORS dengan perangkat pengguna (*rover*), sehingga koreksi data dapat diterima secara langsung. Sistem ini didukung oleh protokol NTRIP yang bertugas mendistribusikan data koreksi dari *server* ke *client* melalui koneksi internet. Dengan metode ini, pengguna hanya memerlukan satu *receiver* GNSS dengan sistem NTRIP untuk mendapatkan koordinat dengan ketelitian hingga sentimeter. Penggunaan metode ini sangat menguntungkan dalam survei tanah, konstruksi, dan pemetaan cepat di lapangan.

Komponen utama dalam sistem RTK-NTRIP meliputi *NTRIP Source*, *Server*, *Caster*, dan *Client*. *NTRIP Source* menyediakan data koreksi dalam format *RTCM* dari stasiun CORS, kemudian dikirim ke *NTRIP Caster* dan didistribusikan ke pengguna. Di Indonesia, teknologi ini telah diimplementasikan secara luas oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui jaringan InaCORS yang menyediakan layanan koreksi secara gratis (Ramadhon, 2020). Jarak pelayanan koreksi tergantung pada tipe stasiun CORS, yakni *single base station* (hingga 20 km) dan

network base station (hingga 70 km). Dengan perkembangan jaringan CORS dan ketersediaan internet yang memadai, metode RTK-NTRIP menjadi solusi efisien dan ekonomis untuk keperluan survei spasial modern.

2.7 *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan suatu metode pengukuran yang digunakan untuk menilai perbedaan antara nilai prediksi yang dihasilkan oleh sebuah model dan nilai yang diobservasi. Sebuah metode estimasi dianggap lebih akurat jika memiliki nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan metode estimasi lainnya yang memiliki RMSE lebih besar.

Cara menghitung *Root Mean Square Error (RMSE)* dimulai dengan pengurangan nilai aktual dari nilai peramalan, kemudian hasil kuadrat selisih tersebut. Hasil kuadrat dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah data yang ada. Untuk mendapatkan nilai RMSE dapat dihitung dengan akar kuadrat dari hasil pembagian tersebut. Berikut ini adalah cara menghitung RMSE dengan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(H_{WATERPASS} - H_{GNSS})^2}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- H_{GNSS} : Tinggi Orthometrik Hasil GNSS
- $H_{WATERPASS}$: Tinggi Orthometrik Hasil Waterpass
- n : Banyak data

2.8 *Ketinggian Orthometrik*

Tinggi *orthometrik* merupakan tinggi suatu titik di permukaan bumi yang diukur secara vertikal dari permukaan *geoid*. *Geoid* merupakan bidang equipotensial gaya berat bumi yang secara teoritis berimpit dengan permukaan laut rata-rata (*mean sea level*). Dalam konteks pemetaan dan survei geospasial, tinggi *orthometrik* dianggap

lebih merepresentasikan kondisi fisik bumi dibandingkan tinggi *elipsoid*. Oleh karena itu, tinggi *orthometrik* banyak digunakan sebagai referensi dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur seperti jalan, bendungan, serta sistem drainase. Menurut (Phalosa dkk., 2023) referensi *geoid* sangat penting untuk menghasilkan tinggi *orthometrik* yang akurat pada kegiatan pengukuran topografi. Hal ini membuat ketinggian *orthometrik* sangat penting dalam berbagai aplikasi geodesi, terutama yang memerlukan akurasi tinggi seperti perencanaan infrastruktur dan pemetaan topografi. Ketinggian ini berbeda dari ketinggian *geometrik* yang mengacu pada permukaan *elipsoid*, sehingga perlu adanya transformasi dari data GPS agar dapat menghasilkan tinggi *orthometrik*. Transformasi tersebut memerlukan nilai undulasi *geoid* untuk mengkonversi tinggi *elipsoid* menjadi tinggi *orthometrik*. Nilai undulasi *geoid*, yaitu selisih antara permukaan *elipsoid* dan *geoid*, menjadi kunci dalam konversi ketinggian.

Berikut ini adalah rumus untuk mencari tinggi *orthometrik* :

$$H = h - N \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- H : Tinggi *Orthometrik*
- h : Tinggi *Elipsoid*
- N : Nilai Undulasi

Phalosa dkk., 2023 menegaskan bahwa transformasi ini merupakan hasil pengukuran GNSS digunakan secara praktis untuk penentuan tinggi *orthometrik*. Nilai undulasi dapat diperoleh dari model *geoid* global seperti EGM2008 dari model *geoid* nasional yang disediakan oleh SRGI. Data tinggi *orthometrik* hasil dari GNSS *Hi-Target* dan *Low Cost* dibandingkan dengan hasil *levelling* menggunakan *waterpass* metode *double stand*. Selisih tiap titik dihitung dengan rumus:

$$\Delta H = H_{WATERPASS} - H_{GNSS} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

- ΔH : Jumlah Tinggi

2.9 Ketinggian *Elipsoid*

Elipsoid adalah model matematis dari bentuk bumi yang dirancang untuk mendekati bentuk geometris bumi secara sederhana dan ideal. tinggi *elipsoid* didefinisikan sebagai jarak vertikal dari suatu titik permukaan bumi ke permukaan *elipsoid* referensi, dihitung sepanjang garis normal terhadap *elipsoid*. Sistem ini digunakan secara luas dalam pengamatan GPS karena menghasilkan data posisi tiga dimensi yang konsisten dan seragam secara global. Meskipun tinggi *elipsoid* tidak memiliki arti fisik seperti tinggi *orthometrik*, nilai ini tetap penting sebagai dasar perhitungan dalam sistem koordinat geodetik. Oleh karena itu, *elipsoid* berfungsi sebagai acuan geometris utama dalam sistem referensi global seperti WGS 1984 (Oktavian, 2017).

2.10 *Linear Error 90%*

Linear Error 90% (LE 90) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur ketelitian geometrik vertikal dalam bidang survei dan pemetaan. LE 90 menyatakan besarnya kesalahan maksimum pada komponen ketinggian (elevasi), di mana 90% dari seluruh kesalahan pengukuran tidak melebihi nilai tersebut. Dengan kata lain, LE 90 menunjukkan tingkat kepercayaan sebesar 90% terhadap ketelitian data vertikal yang dihasilkan (Rahmadany dkk., 2022).

Menurut standar ketelitian peta yang ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG), LE 90 digunakan sebagai acuan dalam menentukan kualitas data elevasi, seperti *Digital Elevation Model* (DEM), orthophoto, maupun hasil pengukuran GNSS. Semakin kecil nilai LE90, maka semakin tinggi tingkat ketelitian data vertikal tersebut (Sukojo dkk., 2017).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

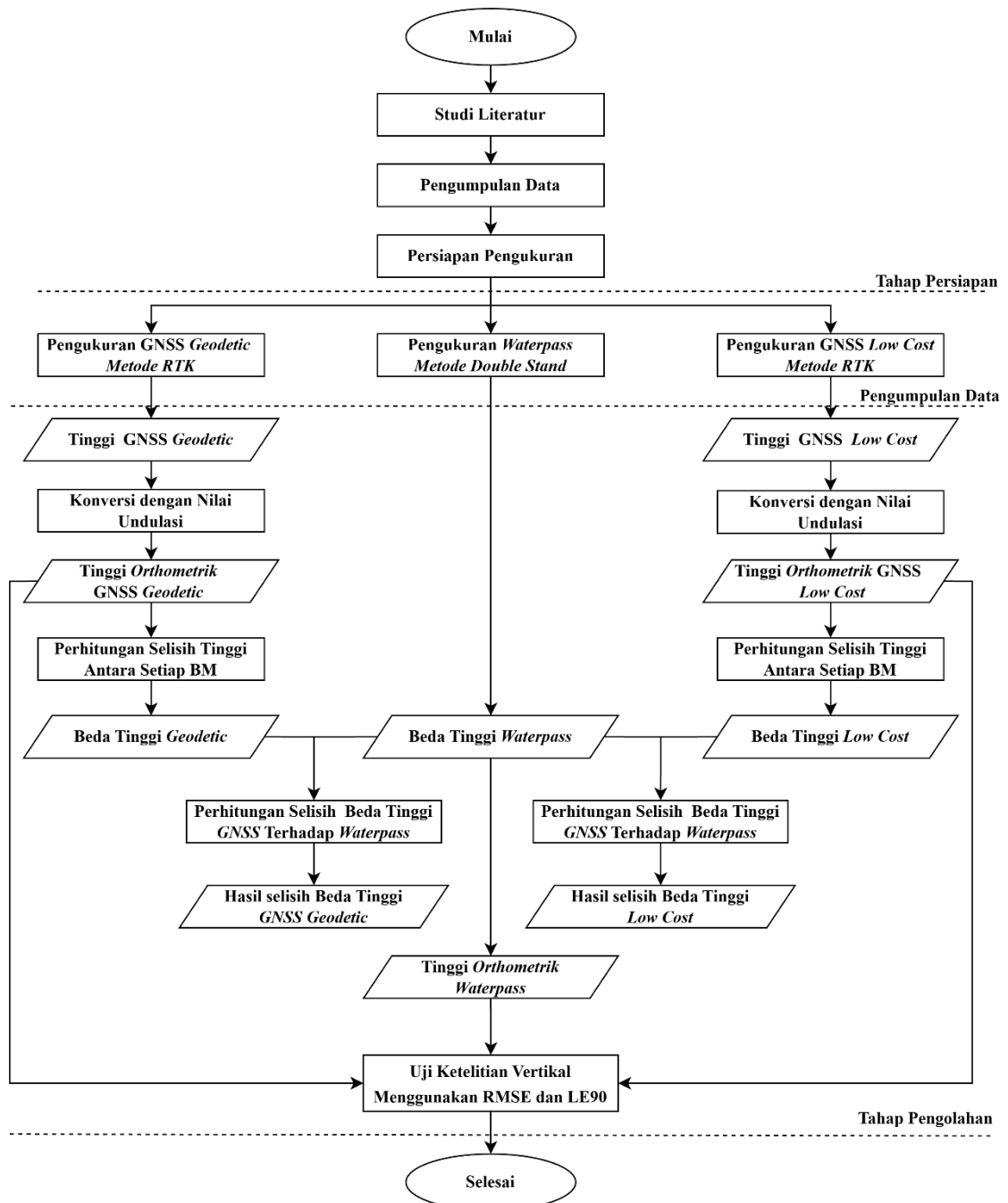
Lokasi Tugas Akhir ini dilakukan di Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung, yang merupakan area dengan kondisi topografi yang relatif bergelombang dan terbuka, sehingga cocok untuk pengujian akurasi GNSS dalam penentuan beda tinggi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Diagram Alir

Tugas akhir ini memiliki tahapan yang akan dilaksanakan, berikut ini adalah dari tahapan yang dilaksanakan.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3.3 Data dan Alat

Dalam proses Pengukuran Beda Tinggi Alat GNSS *Geodetic (Hi-Target)* dan GNSS *Low Cost* alat dan data yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

3.3.1 Data

Data yang digunakan dalam pengukuran adalah data koordinat BM sebagai berikut.

Tabel 1. Koordinat BM

| Nama | E(m) | N(m) |
|-------------|-------------|---------------|
| BM 1 | 526.973,971 | 9.406.544,473 |
| BM 2 | 526.989,529 | 9.406.538,967 |
| BM 3 | 527.002,490 | 9.406.550,353 |
| BM 4 | 526.988,826 | 9.406.565,636 |
| BM 5 | 527011,386 | 9.406.577,727 |
| BM 6 | 527.025,127 | 9.406.586,170 |
| BM 7 | 527.031,237 | 9.406.602,199 |
| BM 8 | 527.045,234 | 9.406.606,521 |
| BM 9 | 527.043,905 | 9.406.642,245 |

3.3.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam pengukuran dan pengambilan data tugas akhir ini sebagai berikut.

Tabel 2. Alat Penelitian

| No | Jenis Alat |
|-----------|-----------------------|
| 1 | GNSS <i>Hi-Target</i> |
| 2 | GNSS <i>Low Cost</i> |
| 3 | <i>Waterpass</i> |
| 4 | Rambu Ukur |
| 5 | <i>Statif</i> |
| 6 | <i>Stick</i> |
| 7 | <i>Smartphone</i> |

3.4 Tahap Persiapan

Pada tahapan ini dimulai dengan melakukan studi literatur mendalam tentang referensi ilmiah dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan penelitian sebagai bahan bacaan dan referensi. Pada tahap ini juga penulis mengumpulkan teori-teori yang penulis dapatkan dari berbagai jurnal dan buku.

3.5 Tahapan Pengukuran

Tahap Pengukuran dilakukan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk tugas akhir, pengukuran yang dilakukan terdiri dari beberapa pengukuran yaitu Pengukuran *Leveling* dan Pengukuran GNSS (*Hi-Target* dan *Low-Cost*).

3.5.1 Pengukuran *Leveling*

Pengukuran *Leveling* untuk menentukan perbedaan tinggi (beda elevasi) antara satu titik dengan titik lainnya di wilayah tugas akhir. Selain itu, pengukuran ini juga digunakan untuk mengetahui elevasi suatu titik terhadap datum tertentu, seperti permukaan laut rata-rata (MSL). Tahapan pengukuran *leveling* dengan menggunakan alat *Waterpass* adalah sebagai berikut:

1. Alat *waterpass* dipasang di atas tripod dan ditempatkan di antara dua titik yang akan diukur. Posisi alat diusahakan berada di tengah terhadap rambu belakang (*backsight*) dan rambu depan (*foresight*).
2. Lakukan penyetelan nivo (gelembung) hingga posisi alat benar-benar datar.
3. Membaca nilai bacaan benang tengah, benang atas dan benang bawah.
4. Melakukan pengukuran beda tinggi antar titik menggunakan metode *double stand* dan pulang pergi untuk meningkatkan akurasi.
5. Data dicatat dalam tabel pengukuran dan dihitung elevasinya berdasarkan titik referensi awal.

3.5.2 Pengukuran GNSS (*Geodetic dan Low Cost*)

Pengukuran GNSS dengan metode RTK (*Real Time Kinematic*) bertujuan untuk memperoleh koordinat posisi suatu titik secara cepat dan akurat dalam waktu nyata (*real-time*). Metode ini memanfaatkan koreksi data dari stasiun referensi (*base station*) atau jaringan NTRIP sehingga mampu menghasilkan ketelitian tinggi hingga tingkat sentimeter. Tahapan pengukuran GNSS dengan menggunakan metode RTK adalah sebagai berikut :

1. Mengaktifkan *receiver* GNSS (*Hi-Target dan Low Cost*) dengan *smartphone* sebagai *kontroler*/penerima data *receiver* GNSS dihubungkan dengan controller melalui koneksi Bluetooth.
2. Menghubungkan *receiver* (*Low Cost*) dengan aplikasi *SW Maps* untuk konfigurasi pengamatan.
3. Mengatur pengamatan RTK secara *real-time* dengan koneksi ke server CORS melalui internet. Pengaturan RTK dengan memasukkan alamat server (*IP/Domain*), *port*, *username*, *password*, serta *mountpoint*. Konfigurasi ini bertujuan menghubungkan *rover* dengan stasiun referensi CORS terdekat untuk menerima koreksi diferensial secara *real-time*.
4. *Receiver* GNSS dipasang pada stik dan ditempatkan tepat di atas titik *bm* yang akan diukur. Posisi alat harus tegak lurus dan centering untuk menghindari kesalahan pengukuran.
5. Melakukan pengukuran pada titik-titik yang telah ditentukan dengan pengamatan mencapai kondisi *fix* untuk memperoleh hasil yang stabil.

3.6 Tahap Pengolahan

Dalam penelitian ini memiliki beberapa tahapan pengolahan, adapun tahapan pengolahannya seperti memperoleh data elevasi awal hasil pengukuran, mengkonversi tinggi *elipsoid* ke tinggi *orthometrik*, melakukan perbandingan tinggi dengan data *waterpass*, menghitung beda tinggi dengan langkah langkah sebagai berikut:

3.6.1 Data Elevasi

Setelah melakukan pengukuran GNSS, maka data elevasi yang diperoleh dari pengukuran alat GNSS yaitu data tinggi *elipsoid* adalah sebagai berikut.

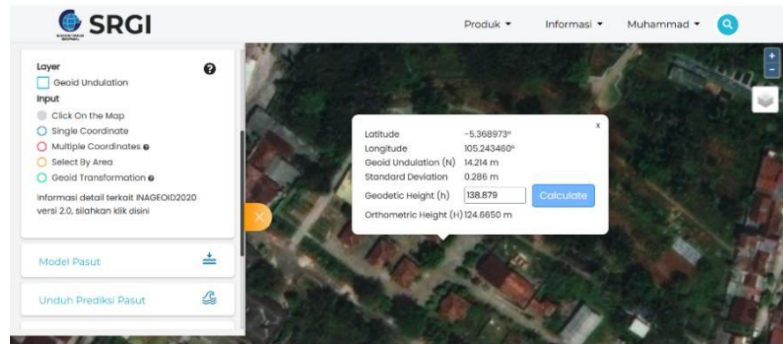
Tabel 3. Tinggi *elipsoid* alat GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost*

| Nama Titik | Elevasi (m) | Elevasi (m) |
|------------|----------------------|----------------------|
| | GNSS <i>Geodetic</i> | GNSS <i>Low Cost</i> |
| BM 1 | 138,957 | 139,067 |
| BM 2 | 140,919 | 140,867 |
| BM 3 | 139,640 | 139,802 |
| BM 4 | 137,126 | 137,206 |
| BM 5 | 135,658 | 135,612 |
| BM 6 | 133,061 | 133,262 |
| BM 7 | 130,354 | 130,486 |
| BM 8 | 127,624 | 127,761 |
| BM 9 | 125,444 | 125,426 |

3.6.2 Konversi Tinggi *Elipsoid* ke Tinggi *Orthometrik*

Pengolahan data hasil pengukuran tinggi *elipsoid* GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost* dikonversi ke tinggi *orthometrik* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Data tinggi *elipsoid* diperoleh dari hasil pengukuran GNSS. Nilai ini biasanya langsung tersedia pada output alat GNSS sebagai koordinat
2. Hasil pengukuran tinggi *elipsoid* alat GNSS dijumlahkan dengan mengurangi tinggi *elipsoid* dengan nilai undulasi untuk mendapatkan tinggi *orthometrik*.
3. Nilai undulasi yang diketahui pada *web* SRGI di lokasi Tugas Akhir adalah 14.214 m.



Gambar 5. Nilai Undulasi dari Web SRGI

4. Hasil perhitungan tersebut menghasilkan nilai tinggi *orthometrik* GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low* pada setiap titik BM.

3.6.3 Perbandingan Tinggi dengan Data *Waterpass*

Pengolahan data tinggi *orthometrik* hasil dari GNSS *Geodetic* dan *Low Cost* dibandingkan dengan hasil *leveling* menggunakan *waterpass* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Setelah mendapatkan tinggi *orthometrik* setiap alat GNSS, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan tinggi dari alat *Waterpass*.
2. Perhitungan dilakukan dengan mengurangi tinggi *waterpass* dengan tinggi GNSS dengan menggunakan rumus (4).

Tabel 4. Perhitungan Tinggi GNSS Terhadap *Waterpass*

| Nama Titik | ΔH (m) |
|------------|------------------------------|
| BM 1 | $124,743 - 124,743 = 0,000$ |
| BM 2 | $126,606 - 126,705 = -0,100$ |
| BM 3 | $125,520 - 125,426 = 0,094$ |

3. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan selisih dari tinggi GNSS terhadap tinggi *waterpass*.

3.6.4 Perhitungan Beda Tinggi

Beda tinggi antar titik dalam tugas akhir ini diperoleh dari dua metode pengukuran, yaitu metode *leveling* menggunakan *waterpass* dan metode GNSS yang terdiri dari GNSS *Hi-Target* dan GNSS *Low Cost*. Metode tersebut diolah untuk mengetahui nilai beda tinggi serta dibandingkan tingkat ketelitiannya. Berikut ini langkah-langkah pengolahan beda tinggi :

1. Beda Tinggi Alat GNSS

Pengolahan beda tinggi pada pengukuran menggunakan alat GNSS dilakukan dengan menghitung selisih elevasi antara satu titik dengan titik lainnya dengan menggunakan rumus (1).

Elevasi yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan tinggi orthometrik yang telah diperoleh dari hasil konversi tinggi *elipsoid* menggunakan model *geoid*. Berikut merupakan tabel dari perhitungan beda tinggi alat GNSS.

Tabel 5. Pengolahan Beda Tinggi GNSS

| Nama Titik | ΔH (m) | Beda Tinggi (m) | ΔH (m) | Beda Tinggi (m) |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | GNSS <i>Geodetic</i> | GNSS <i>Geodetic</i> | GNSS <i>Low Cost</i> | GNSS <i>Low Cost</i> |
| BM 1 – BM 2 | 124,743 - 126,705 | 1,962 | 124,853 - 126,653 | 1,800 |
| BM 2 – BM 3 | 126,705 - 125,426 | -1,279 | 126,653 - 125,588 | -1,065 |
| BM 3 – BM 4 | 125,426 - 122,912 | -2,514 | 125,588 - 122,992 | -2,596 |
| BM 4 – BM 5 | 122,912 - 121,444 | -1,468 | 122,992 - 121,398 | -1,594 |
| BM 5 – BM 6 | 121,444 - 118,847 | -2,597 | 121,398 - 119,048 | -2,350 |
| BM 6 – BM 7 | 118,847 - 116,140 | -2,707 | 119,048 - 116,272 | -2,776 |
| BM 7 – BM 8 | 116,140 - 113,410 | -2,730 | 116,272 - 113,547 | -2,725 |
| BM 8 – BM 9 | 113,410 - 111,230 | -2,180 | 113,547 - 111,212 | -2,335 |

2. Beda Tinggi *Waterpass*

Dengan menghitung selisih antara bacaan benang tengah belakang (BT_{blk}) dan bacaan benang tengah muka (BT_{mka}) dengan rumus (1). Berikut merupakan tabel dari perhitungan beda tinggi alat *waterpass*.

Tabel 6. Pengolahan Beda Tinggi Alat *Waterpass*

| PATOK | BACAAN RAMBU BELAKANG | | | BACAAN RAMBU MUKA | | | BEDA TINGGI (m) |
|-------|--------------------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|-----------------------|
| | BA (mm) | BT (mm) | BB (mm) | BA (mm) | BT (mm) | BB (mm) | |
| BM1 | 2677 | 2607 | 2537 | | | | 1,8625 |
| BM2 | | | | 760 | 745 | 730 | |
| | | | | | | | |
| BM2 | 538 | 492 | 446 | | | | -1,086 |
| BM3 | | | | 1622 | 1578 | 1534 | |
| | | | | | | | |
| BM3 | 488 | 441 | 394 | | | | -2,592 |
| BM4 | | | | 3105 | 3033 | 2961 | |
| | | | | | | | |
| BM4 | 758 | 711 | 664 | | | | -1,597 |
| BM5 | | | | 2390 | 2308 | 2226 | |
| | | | | | | | |
| BM5 | 261 | 230 | 209 | | | | -2,409 |
| BM6 | | | | 2690 | 2639 | 2588 | |
| | | | | | | | |
| BM6 | 484 | 460 | 436 | | | | -2,702 |
| BM7 | | | | 3225 | 3162 | 3099 | |
| | | | | | | | |
| BM7 | 434 | 392 | 350 | | | | -2,778 |
| BM8 | | | | 3210 | 3170 | 3130 | |
| | | | | | | | |
| BM8 | 1114 | 1095 | 1076 | | | | -2,325 |
| BM9 | | | | 3580 | 3420 | 3260 | |

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa GNSS *Geodetic* dan GNSS *Low Cost* mampu menghasilkan nilai beda tinggi yang mendekati hasil pengukuran *waterpass*. Rata-rata selisih beda tinggi GNSS *Geodetic* sebesar 0,014 m, sedangkan GNSS *Low Cost* sebesar 0,002 m, yang menunjukkan bahwa kedua alat memiliki hasil yang konsisten dan masih dalam batas toleransi pengukuran skala menengah.
2. Selisih tinggi orthometrik GNSS *Geodetic* berkisar antara 0,113 m hingga 0,094 m, sedangkan GNSS *Low Cost* antara 0,005 m hingga 0,084 m. Nilai RMSE GNSS *Geodetic* sebesar 0,080 m dan GNSS *Low Cost* sebesar 0,047 m, dengan nilai LE90 masing-masing 0,132 m dan 0,078 m. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua alat masih memenuhi ketelitian untuk pengukuran vertikal skala menengah, dengan GNSS *Low Cost* menunjukkan tingkat ketelitian yang lebih baik pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan penelitian pada kondisi lingkungan yang berbeda, seperti daerah tertutup, perkotaan, atau daerah dengan gangguan multipath tinggi, untuk mengetahui pengaruh lingkungan terhadap ketelitian GNSS.

2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah titik pengamatan yang lebih banyak serta variasi kondisi topografi yang berbeda untuk memperoleh hasil yang lebih komprehensif.
3. Dalam penggunaan metode RTK-NTRIP, perlu diperhatikan kestabilan koneksi internet dan durasi pengamatan agar hasil pengukuran lebih optimal.
4. GNSS *Low-Cost* dapat dimanfaatkan sebagai alternatif dalam kegiatan praktikum, survei cepat, dan pemetaan skala menengah, namun untuk pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi tetap disarankan menggunakan GNSS geodetik atau metode sipat datar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, D. H. Z. 2007. *Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya*. Anjasmara, I. M., dan Yusfania, M. 2016. *Analisa Kecepatan Pergeseran Di Jawa*. 5(2).
- Bagus, D., Awaluddin, M., dan Sasmito, B. 2015. *Analisis pengukuran penampang memanjang dan penampang melintang dengan GNSS metode RTK-NTRIP* (Vol. 4, Issue 2).
- Hadi, I. W. 2019. Kajian Ketelitian Hasil Pengukuran Menggunakan Low Cost GNSS Dan GPS Geodetik Menggunakan Metode PPP Online. *Institut Teknologi Nasional Malang*, 2, 1–10.
- Ichsan, F. 2020. *TA: ANALISIS REGANGAN GUNUNG AGUNG BERDASARKAN DATA PENGAMATAN GPS TAHUN 2017*. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Latif, M., Pamungkas, W. G., dan Masvika, H. 2024. Pelatihan Ilmu Ukur Tanah bagi Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS) dan Praktisi Konstruksi. *Jurnal Pengabdian KOLABORATIF*, 2(1), 33. <https://doi.org/10.26623/jpk.v2i1.6865>
- Marbawi, M., Yuwono, D., dan Sudarsono, B. 2015. ANALISIS PENGUKURAN BIDANG TANAH MENGGUNAKAN GNSS RTK-RADIO DAN RTK-NTRIP PADA STASIUN CORS UNDIP. In *Jurnal Geodesi Undip Oktober* (Vol. 4).
- Oktavian, R. F. 2017. *Studi Penentuan Tinggi Orthometrik Menggunakan Metode GPS Heighting dan Metode Gayaberat*. 1–55.
- Parasu, B. 2023. *PERBANDINGAN KETELITIAN ELEVASI ANTARA TOTAL STATION DAN WATERPASS DALAM PENGUKURAN SITUASI DI IRIGASI SUNGAI SEKUNDER KEDUNGGEDE, BEKASI.*

- Phalosa, G. P., R. Fadly, dan Fajriyanto. 2023. Kajian Tinggi Orthometrik Pengukuran RTK NTRIP-Levelling Hasil Reduksi Geoid Global dan SRGI. *DATUM : Journal of Geodesy and Geomatics*, 3(1), 6–12.
- Rahmadany, V., Tjahjadi, M. E., dan Agustina, F. D. 2022. Penggunaan DTM Presisi dari Fotogrametri UAV untuk Analisa Bencana Longsor Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Jambura Geoscience Review*.
- Ramadhon, S. 2020. Pengaruh Lingkungan Pengamatan pada Ketelitian Horisontal GNSS dengan Metode RTK-NTRIP. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 2(1), 27–35. <https://doi.org/10.37525/mz/2020-1/249>
- Rastawira, T., Kahar, I. S., Si, M., dan Sabri, L. M. 2013. 9_Tanggo Rastawira_L2M008056_88-102. *Jurnal Geodesi Undip Agustus*, 2(3), 2337–2845.
- Reza Nur Hidayat. 2019. ANALISIS DESAIN JARING GNSS BERDASARKAN FUNGSI PRESISI (STUDI KASUS: TITIK GEOID GEOMETRI KOTA SEMARANG). *Jurnal Geodesi Undip*.
- Ridwan, Zebua, D., dan Solihin. 2023. Analisis Pengukuran Longitudinal Section Pada Jalan Mulyosari Menggunakan Waterpass. *Jurnal Penelitian Jalan Dan Jembatan*, 3(2), 17–23.
- Sukojo, B. M., Husnul, H., dan Romario, S. 2017. ANALISIS KETELITIAN HORIZONTAL ORTHOREKTIFIKASI CITRA PLEIADES UNTUK PEMBUATAN PETA DASAR RDTR PESISIR (Studi Kasus : Kecamatan Semampir, Kota Surabaya).
- Ulinuha, H., Sunantyo, T. A., dan Widjajanti, N. 2013. ANALISIS DEFORMASI SEGMENT MENTAWAI FASE POST-SEISMIC. 2013, 813–818.
- Winaya, I. N. A. P., dan Ardika, W. D. 2017. Pemetaan situasi dan pengukuran beda tinggi, hammer test dan penyelidikan tanah di pura prapat nunggal kelurahan benoa. *Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali*, 1(1), 9.