

**PENGUKURAN KECEPATAN MENGGUNAKAN SENSOR
GNSS**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Stara
Satu (S1) Pada Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
Semarang



Disusun Oleh:

MOCHAMMAD YUSRIL ARTATO

NIM: 30601700020

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

SPEED MEASUREMENT USING THE GNSS SENSOR
FINAL PROJECT

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departement of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung*



Arranged By:

MOCHAMMAD YUSRIL ARTATO

NIM: 30601700020

MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG
2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul **"PENGUKURAN KECEPATAN MENGGUNAKAN SENSOR GNSS"** ini disusun oleh:

Nama : Mochammad Yusril Artato

NIM : 30601700020

Program Studi : Teknik Elektro

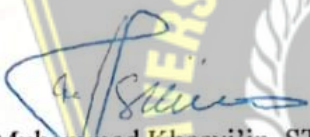
Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:


Hari : Selasa

Tanggal : 07 Maret 2023

Pembimbing I


Pembimbing II


Muhammad Khosyi'in, ST, MT
NIDN. 0625077901


Munaf Ismail ST, MT.
NIDN. 0613127307

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro




Jenny Putri Hapsari, ST, MT
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

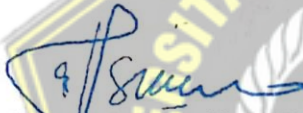
Laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGUKURAN KECEPATAN MENGGUNAKAN SENSOR GNSS” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:


Hari : Selasa

Tanggal : 07 Maret 2023

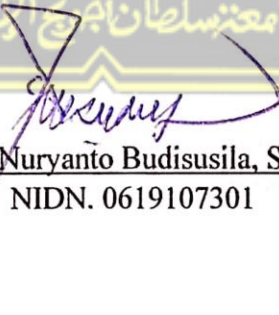
Penguji I

Penguji II


Muhammad Khosyi'in, ST., MT
NIDN. 0625077901


Munaf Ismail, ST., MT
NIDN. 0613127302

Ketua Penguji


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST., MT
NIDN. 0619107301

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mochammad Yusril Artato
NIM : 30601700020
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : PENGUKURAN KECEPATAN
MENGGUNAKAN SENSOR GNSS

Dengan ini menyatakan bahwa judul Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 08 Maret 2023

Yang menyatakan

A yellow rectangular stamp with a red border and a Garuda emblem. The text on the stamp includes 'METRA TEMPEL' and a unique ID '131AKX320667684'. A blue ink signature is written over the stamp.

Mochammad Yusril Artato

PERNYATAAN PERSETUJUAN UNGGAH KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochammad Yusril Artato

Nim : 30601700020

Program studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir/Skripsi/Tesis/Disertasi dengan judul :

PENGUKURAN KECEPAATAN MENGGUNAKAN SENSOR GNSS

Dan menyetujui menjadi hak milik universitas islam sultan agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data, dan dipublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan mana penulis sebagai Hak Cipta

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang 08 Februari 2023

Yang menyatakan



Mochammad Yusril Artato

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur yang mendalam kepada Allah, atas nikmat Iman, nikmat sehat, nikmat akal yang telah diberikan kepada saya, dan Sholawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Nabi Muhammad SAW yang saya harapkan Syafa'at Beliau di Yaumul Akhir kelak.

Dengan diselesaikannya Skripsi ini, penulis mempersembahkannya kepada:

1. Almarhum Bapak Sunoto yang telah menerima diri saya apa adanya dan Ibu Endang Sriningsih yang selalu medoakan yang terbaik akan diri saya, serta terimakasih untuk kakak-kakak saya yang telah memberi support, do'a, serta semangat bagi kehidupan saya sehingga saya bisa menyelesaikan pendidikan sampai tingkat sarjana.
2. Terima kasih kepada Bapak Muhammad Khosyi'in, ST., MT. dan teman tim riset atas bantuan dan semangatnya.
3. Teman-teman Elektro Angkatan 2017.
4. Terima kasih "ILENG UKT 4JT" saya terharu.
5. Terima kasih diri saya sendiri.

HALAMAN MOTTO

Q.s Ar Ra'd Ayat 11

innallāha lā yugayyiru mā biqaumin ḥattā yugayyirū mā bi`anfusihim, wa izā arādallāhu biqaumin sū`an fa lā maradda lah, wa mā lahum min dūnihī miw wāl

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.” (Q.S Ar-Ra'd: 11)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Rasa syukur penulis kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat. Shalawat serta Salam tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin ya Yaa Robbaalalamin.

Banyak hambatan yang terjadi dalam penulisan tugas akhir ini tetapi dengan adanyapihak lain yang membantu sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Novi Marlyana, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Muhammad Khosyiin, ST., MT selaku Dosen Wali serta Pembimbing I dan Bapak Munaf Ismail, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing saya, memberi arahan, saran, masukan, motivasi, serta kesabaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Semua Dosen dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri atas semua ilmu, bimbingan dan bantuannya hingga penulis menyusun tugas akhir ini.
5. Tidak lupa pula kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu – persatu.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi' Wabarakatuh

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
FINAL PROJECT	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iiiv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Landasan Teori	7
2.2.1 GPS.....	7
2.2.2 HEX CubePilot Cube Black (Pixhawk 2.1)	9
2.2.3 Mission Planner.....	9
2.2.4 GPS Here 2.....	10
2.2.5 GPS Here 3	11
2.2.6 IMU (Inertial Measurement Unit).....	12

2.2.7 Kecepatan	15
2.2.8 GNSS (Global Navigation Satellite System)	16
2.2.9 <i>Haversine</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Deskripsi Umum	19
3.2 Blok Diagram	21
3.3 Lokasi dan Rute Pengujian.....	22
3.3.1 Madukoro raya	22
3.3.2 Marina Raya	23
3.4 Perancangan <i>Hardware</i>	24
3.5 <i>Flowchart</i> Pengujian Sistem	25
3.6 <i>Flowchart</i> Pengolahan Hasil Pengujian	31
3.6.1 <i>Flowchart</i> Pengambilan Data Log GNSS	31
3.6.2 <i>Flowchart</i> Konversi Data <i>Latitude</i> dan <i>Longitude</i> ke meter.....	33
3.6.3 <i>Flowchart</i> Pengambilan Data <i>Log</i> Google Eart	35
3.6.4 <i>Flowchart</i> Menentukan Titik Referensi	36
BAB IV DATA DAN ANALISA.....	38
4.1 Analisa lokasi	38
4.2 Hasil Pengujian Jalan Madukoro Raya	39
4.3 Hasil Pengujian Jalan Marina Raya.....	45
4.4 Grafik Pengujian Jalan Madukoro Raya	52
4.5 Grafik Pengujian Jalan Marina Raya.....	53
4.6 Hasil Perbandingan Antar Lokasi.....	53
BAB V PENUTUP.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Penentuan Posisi GPS.....	7
Gambar 2. 2 Satelit GPS dan Data Sinyal	8
Gambar 2. 3 Hex Cube Black (Pixhawk 2.1)	9
Gambar 2. 4 Tampilan Mission Planner	10
Gambar 2. 5 GNSS Here 2	11
Gambar 2. 6 GNSS Here 3	11
Gambar 2. 7 Konfigurasi umum INS	13
Gambar 2. 8 Akselerometer.....	14
Gambar 2. 9 Giroskop	15
Gambar 2. 10 Magnetometer	15
Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Blok Diagram.....	21
Gambar 3. 3 Madukoro Raya	22
Gambar 3. 4 Marina Raya.....	23
Gambar 3. 5 Perancangan Hardware	24
Gambar 3. 6 Flowchart Pengujian Sistem	25
Gambar 3. 7 Instalasi Pixhawk dengan GPS	26
Gambar 3. 8 Mengatur Port komunikasi dan Baudrate	26
Gambar 3. 9 Menu kalibrasi akselerometer pada software Mission Planner	27
Gambar 3. 10 Flowchart kalibrasi sensor akselerometer.....	28
Gambar 3. 11 Flowchart kalibrasi sensor kompas.....	29
Gambar 3. 12 Kendaraan di titik awal.....	30
Gambar 3. 13 Flowchart data log GNSS	31
Gambar 3. 14 Mengonversi data Tlog	32
Gambar 3. 15 Memilih data parameter.....	32
Gambar 3. 16 Flowchart Konversi Data Latitude dan Longitude ke meter	33
Gambar 3. 17 Perhitungan data kecepatan IMU dan GNSS.....	34
Gambar 3. 18 Pengambilan Data Log Google Earth	35
Gambar 3. 19 Mengonversi data Tlog	35

Gambar 3. 20 Flowchart Menentukan Titik Referensi	36
Gambar 3. 21 Memilih data kecepatan referensi	37
Gambar 3. 22 Nilai jarak dan waktu kecepatan referensi	37
Gambar 4. 1 Jalan Madukoro Raya	38
Gambar 4. 2 Jalan Marina Raya	39
Gambar 4. 3 Grafik pengujian Jalan Madukoro Raya	52
Gambar 4. 4 Grafik pengujian Jalan Marina Raya	53



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan	5
Tabel 2. 2 Spesifikasi GNSS Here3	12
Tabel 3. 1 Kalibrasi Akselerometer	27
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian.....	39
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan	43
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 2.....	44
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2	44
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 3.....	45
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3	45
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian.....	45
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan	50
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 2.....	51
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2	52
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 3.....	52
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3	52

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

ABSTRAK

GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter. Dalam prakteknya, kecepatan kendaraan mempunyai peraturan dengan batas-batas tertentu, sesuai dengan daerah ataupun kondisinya. Dalam sistem navigasi yang handal, akurasi pembacaan kecepatan merupakan hal yang sangat penting karena adanya peraturan tersebut. Maka dari itu penelitian kali ini akan menguji perangkat Pixhawk 2.1 dengan GPS Here 2 dan GPS Here 3 yang digunakan untuk pengukuran kecepatan dengan variasi kecepatan yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 km/jam. Dari hasil pengujian akurasi kecepatan GNSS lebih tinggi daripada akurasi kecepatan IMU, dimana hasil rata-rata akurasi kecepatan GNSS yaitu 98,95% sedangkan hasil rata-rata akurasi kecepatan IMU yaitu 97,80%. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan sedikit penghalang yaitu Madukoro Raya mendapatkan hasil akurasi kecepatan GNSS Here 2 tertinggi sebesar 99,60% pada saat kecepatan pengujian maksimal 10 km/jam, sedangkan akurasi kecepatan GNSS Here 3 tertinggi sebesar 99,94% pada saat kecepatan maksimal 40 km/jam. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan banyak penghalang yaitu Marina Raya mendapatkan hasil akurasi kecepatan GNSS Here 2 tertinggi sebesar 99,84% pada saat kecepatan pengujian kecepatan maksimal 10 km/jam, sedangkan akurasi kecepatan GNSS Here 3 tertinggi sebesar 99,00% pada saat kecepatan pengujian maksimal 30 km/jam. Perangkat yang paling bagus untuk pengukuran kecepatan yaitu GPS Here 2 dikarenakan hasil rata-rata akurasi GPS Here 2 mencapai 99,41% sedangkan hasil rata-rata akurasi GPS Here 3 sebesar 98,49%.

Kata kunci : GNSS, GPS, Pengukur Kecepatan, Haversine



ABSTRACT

GPS has been widely used by people around the world in various fields of applications that require accurate information about position, speed, acceleration or time. GPS can provide position information with varying accuracy from a few millimeters (zero order) to tens of meters. In practice, vehicle speed has regulations with certain limits, according to the area or road conditions. In a reliable navigation system, the accuracy of speed readings is very important because of these regulations. So from this research we will test the Pixhawk 2.1 device with GPS Here 2 and GPS Here 3 which are used to measure speed with variations in speed, namely 10,20,30,40 and 50 km/hour. From the test results, the GNSS speed accuracy is higher than the IMU speed accuracy, where the average result for GNSS speed accuracy is 98.95%, while the average IMU speed accuracy is 97.80%. In the test conducted at a location with few obstructions, namely Madukoro Raya, the highest GNSS Here 2 speed accuracy was 99.60% when the maximum test speed was 10 km/hour, while the highest GNSS Here 3 speed accuracy was 99.94% when the speed a maximum of 40 km/h. In the tests carried out at locations with many obstacles, namely Marina Raya, the highest GNSS Here 2 speed accuracy was 99.84% when the maximum speed test speed was 10 km/hour, while the highest GNSS Here 3 speed accuracy was 99.00% when This maximum test speed is 30 km/hour. The best device for measuring speed is GPS Here 2 because the average accuracy of GPS Here 2 reaches 99.41%, while the average accuracy of GPS Here 3 is 98.49%.

Keywords: GNSS, GPS, Speed Meter, Haversine



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan. Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter [1].

Perkembangan teknologi otomatisasi di berbagai bidang kehidupan semakin berkembang, salah satunya yaitu di bidang kendaraan otonom. Kendaraan otonom adalah kendaraan yang bergerak menuju ke titik atau tempat tertentu secara otomatis sesuai dengan rute atau jalur navigasi yang telah ditentukan. Kendaraan otonom memerlukan sistem navigasi yang handal dalam pergerakannya [2].

Dalam prakteknya, kecepatan kendaraan diatur sesuai dengan peraturan jalan. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.111 Tahun 2015 Tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan. Paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam dalam kondisi arus bebas dan paling tinggi 100 (seratus) kilometer per jam untuk jalan bebas hambatan, paling tinggi 80 (delapan puluh) kilometer per jam untuk jalan antarkota, paling tinggi 50 (lima puluh) kilometer per jam untuk kawasan perkotaan, dan paling tinggi 30 (tiga puluh) kilometer per jam untuk kawasan permukiman [3].

Oleh karena itu penelitian kali ini akan menguji perangkat Pixhawk 2.1 dengan GNSS Here2 dan GNSS Here3 yang digunakan untuk pengukuran kecepatan dengan variasi kecepatan tertentu.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja sensor IMU pada modul GNSS Here2 dan GNSS Here3 dalam pengukuran kecepatan?
2. Bagaimana tingkat akurasi pembacaan kecepatan GNSS?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan batasan masalah dalam lingkup permasalahan agar penelitian dapat mendalam dan lebih fokus. Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan perangkat lunak Mission Planner.
2. Menggunakan GNSS Here2 dan GNSS Here3.
3. Kecepatan yang digunakan dalam pengujian yaitu 10,20,30,40, dan 50 km/jam dengan referensi kecepatan dari google earth.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui sistem pembacaan kecepatan dengan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) dan sensor GNSS yang ada di GNSS Here2 dan GNSS Here3 kemudian dibandingkan dengan referensi yang telah ditentukan menggunakan Google Earth.

1.5 Manfaat

1. Dapat memahami cara menggunakan perangkat GNSS yang digunakan untuk membaca kecepatan..
2. Untuk mengetahui kinerja sensor IMU dan sensor GNSS pada Pixhawk 2.1 dengan GNSS Here2 dan GNSS Here3.
3. Dapat mengetahui tingkat akurasi pembacaan kecepatan GNSS.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang tinjauan Pustaka berdasarkan penelitian– penelitian sebelumnya yang kemudian diambil hasil dan kesimpulan dari penelitian tersebut. Dan landasan teori yang mendukung penelitian ini

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum tempat penelitian, data penelitian, prosedur/tahapan penelitian serta metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis sistem pembacaan kecepatan dengan GNSS Here2 dan GNSS Here3 menggunakan *controller* Pixhawk Cube Black 2.1.

BAB IV: HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang pembahasan data dan analisa penelitian yang didapatkan dari hasil penelitian di lokasi dan pengolahan data yang diperoleh dari pengujian kecepatan menggunakan GNSS Here2 dan GNSS Here3.

BAB V: PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran yang diberikan peneliti berdasarkan kesimpulan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh A. Khalid dan Al-Gaadi pada tahun 2005 dengan judul "*Testing the accuracy of autonomous GPS in ground speed measurement*". Pengujian dilakukan dengan menggunakan GPS serta penyimpanan data menggunakan laptop dengan rentan waktu 10 detik. Kecepatan yang di data yaitu setiap 5,10,15,20,25,30,40 dan 50 km/jam. Hasilnya adalah hampir 600 titik data yang terdiri dari kumpulan data ditemukan rata rata 1,27 km/jam terdapat kesalahan. Tetapi terdapat frekuensi kesalahan kecepatan yaitu pada saat berbelok *error* sebesar 80,16% penurunan kecepatan [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Mustafa Akkamis, Muharrem Keskin dan Yunus Emre Sekerli pada tahun 2021 dengan judul "*Comparative Appraisal of Three Low-Cost GPS Speed Sensors with Different Data Update Frequencies*". Penelitian dilakukan sebanyak 144 kali percobaan dengan frekuensi berbeda beda yaitu 1 Hz, 5 Hz dan 7 Hz. Pada kecepatan konstan persentasi kesalahan ditemukan hingga 2,3%, 1,8% dan 1,4 % pada kecepatan yang konstan. Pada saat kecepatan meningkat kesalahan presentasi sebanyak 47%, 16% dan 12% dan pada saat kecepatan menurun 24%,6% dan 5%. Perbedaan nilai kesalahan antara GPS satu dengan lainnya sangat signifikan, dengan frekuensi yang tinggi maka kesalahan akan menurun [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Andry Dyukov, Suelynn Choy dan David Silcock pada tahun 2015 dengan judul "*Accuracy of Speed Measurements using GNSS in Challenging Environments*" akurasi kecepatan penerima *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dengan hasil bahwa GNSS kelas atas, kelas menengah dan kelas bawah hasil pengukuran berbeda saat mengukur kecepatan. Dengan penambahan GLONASS tidak meningkatkan kinerja dala akurasi kecepatan. Akhirnya parameter *Horizontal Dilution of Precision* (HDOP) yang

diturunkan dari penerima GNSS sebagai kualitas statistik yang dapat diandalkan tetapi tidak untuk kecepatan individu [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Muharrem Keskin, Yunus Emre Sekerli, dan Suleyman Kahraman pada tahun 2016 dengan judul “*Performance of two low-cost GPS receivers for groundspeed measurement under varying speed conditions*” Performa dua penerima GPS berbiaya rendah untuk pengukuran kecepatan dalam berbagai kondisi kecepatan. Penerima GPS untuk mengukur kecepatan gerak di bawah berbagai kondisi kecepatan pada empat tanggal yang berbeda. Poros putar pada roda bantu yang dipasang pada pertanian traktor digunakan sebagai referensi. Jeda waktu yang signifikan antara kecepatan *rotary encoder* dan kecepatan GPS ditemukan pada rentang kecepatan. Diamati bahwa kecepatan GPS tertinggal kecepatan *encoder* baik dalam meningkatkan dan menurunkan kecepatan. Rata-rata jeda waktu ditemukan antara 3,6 dan 5,2 detik untuk Penerima 1 sedangkan Penerima 2 memiliki jeda waktu dari 1,7 hingga 2,5 detik. Perbedaan yang signifikan ditemukan antara kedua penerima untuk peningkatan dan penurunan kecepatan dalam hal jeda waktu ($P < 0,05$) [7].

Pada tabel 2.1 terdapat beberapa penelitian sejenis berkaitan dengan penelitian yang dilakukan yaitu pengujian pengukuran kecepatan menggunakan sensor GNSS.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian yang Telah Dilakukan

No	Peneliti dan Judul	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1.	A. Khalid dan Al-Gaadi dengan judul “ <i>Testing the accuracy of autonomous GPS in ground speed measurement</i> ”	-Menggunakan perangkat GPS Garmin eTrex venture	-Menggunakan Pixhawk 2.1 -Menggunakan GNSS Here2 dan Here3

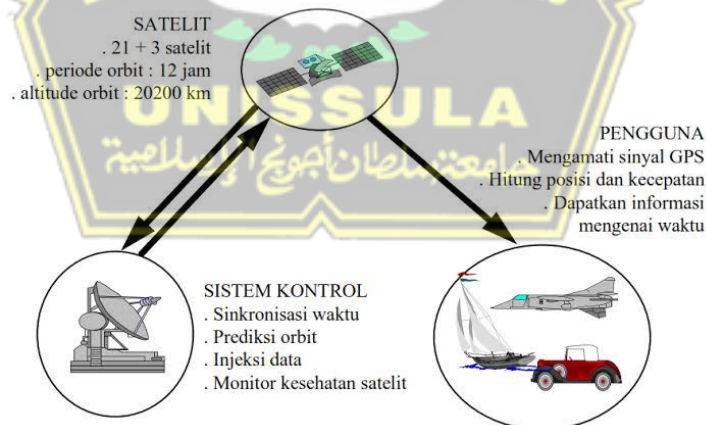
		-Menggunakan variasi kecepatan pengujian 5,10,15,20,25,30,40 dan 50 km/jam	-Menggunakan variasi kecepatan pengujian 10,20,30,40, dan 50 km/jam
2.	Mustafa Akamis, Muharrem Keskin dan Yunus Emre Sekerli dengan judul “ <i>Comparative Appraisal of Three Low-Cost GPS Speed Sensors with Different Data Update Frequencies</i> ”	- <i>Low cost</i> GPS speed sensor	-Menggunakan Pixhawk 2.1 -Menggunakan GNSS Here2 dan Here3
3.	Andry Dyukov, Suelynn Choy dan David Silcock dengan judul “ <i>Accuracy of Speed Measurements using GNSS in Challenging Environments</i> ”	-Menggunakan GPS <i>high cost, middle cost, low cost</i> -Tempat pengujian di daerah pemukiman dan pinggiran kota	-Menggunakan Pixhawk 2.1 -Menggunakan GNSS Here2 dan Here3 -Tempat pengujian di jalan dengan kondisi sedikit penghalang dan banyak penghalang
4.	Muharrem Keskin, Yunus Emre Sekerli, dan Suleyman	-Menggunakan Garmin GPSMAP	-Menggunakan Pixhawk 2.1

Kahraman dengan judul “ <i>Performance of two low-cost GPS receivers for groundspeed measurement under varying speed conditions</i> ”	60 dan Garmin Magellan Sport Trak Map	-Menggunakan GNSS Here2 dan Here3
---	---------------------------------------	-----------------------------------

2.2 Landasan Teori

2.2.1 GPS

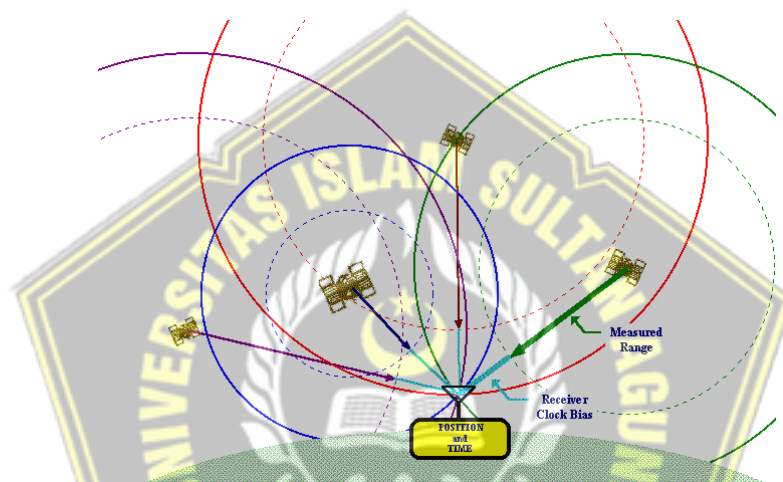
Global Positioning System (GPS) adalah sistem berbasis satelit yang terdiri dari minimal 24 satelit. Satelit ini mengorbit bumi pada ketinggian sekitar 12.500 mil (20.000 km). GPS adalah sistem tiga bagian yang meliputi satelit yang berfungsi seperti bintang di konstelasi, stasiun bumi yang berfungsi untuk memantau, mengendalikan satelit, dan mengidentifikasi lokasi, penerima yang dapat mendengarkan sinyal dari satelit dan *receiver* yang canggih dapat mengidentifikasi lokasi yang tepat dalam sepersekian inci, untuk sistem penentuan GPS ditampilkan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Sistem Penentuan Posisi GPS

Satelit GPS akan mengirimkan sinyal unik untuk penerima GPS agar dapat memecahkan kode dan menghitung lokasi satelit yang tepat. Sinyal bergerak dengan kecepatan cahaya, penerima GPS mengetahui hal ini, dan ini membantu dalam perhitungan matematis untuk menentukan posisinya. Penerima GPS

menggunakan data ini untuk menghitung lokasi pengguna dan menampilkannya di perangkat elektronik menggunakan proses yang dikenal sebagai trilaterasi. Ini bekerja dengan mengukur jarak ke setiap satelit dengan total waktu yang diperlukan untuk menerima sinyal yang dikirimkan. Penerima GPS dapat melacak delapan atau lebih satelit GPS, tetapi ini bergantung pada lokasi anda di bumi dan waktu. Gelombang frekuensi dari GPS sendiri yaitu 1,5 GHz atau 1,2 GHz tergantung pada jenis sinyal yang digunakan. Sinyal GPS memiliki bentuk gelombang sinusoidal yang ditunjukkan pada gambar 2.2 [8].



Gambar 2. 2 Satelit GPS dan Data Sinyal

GPS biasanya akurat sekitar 10 kaki atau 3 meter dalam pandangan langsung ke langit cerah. Jika ada penghalang ke langit, seperti kanopi hutan lebat, awan tebal, bukit yang tinggi, atau bangunan tinggi di pusat kota, hal ini dapat menyebarkan sinyal GPS atau menyebabkannya memantul dan menyebabkan kesalahan tambahan dalam akurasi penentuan posisi GPS. Hal ini dapat menyebabkan keakuratan GPS biasanya sekitar 100 kaki atau 30 meter, atau terkadang bahkan lebih buruk dari 300 kaki atau 100 meter [9].

Pemosisian GPS normal perlu menempatkan perangkat di lokasi tertentu pada lokasi terbuka akan memberi anda lokasi GPS selama periode waktu tertentu. Ada persyaratan khusus penempatan antena yang jauh lebih ketat daripada GPS. Lingkungan terbaik untuk antena dasar dan penjelajah adalah pemandangan langit yang jelas pada 30 derajat di atas cakrawala. GPS dapat ditinggikan tetapi pastikan

tidak ada penghalang di sekitarnya, seperti gedung, pohon, mobil, dan lain-lain. Contoh lingkungan yang buruk: di dalam ruangan, area perkotaan, hutan, dekat tanah. Contoh lingkungan yang baik : Ruang terbuka, puncak gunung, atap bangunan [10].

Beberapa faktor yang secara langsung dapat mempengaruhi akurasi sinyal GPS yaitu kualitas penerima GPS, posisi satelit, lingkungan sekitar seperti bangunan gedung, lembah atau gunung, pohon pohon dan lain lainnya, kondisi cuaca, dan jumlah satelit yang terlihat [8].

2.2.2 HEX CubePilot Cube Black (Pixhawk 2.1)

HEX Cube Black atau Pixhawk 2.1 merupakan perangkat autopilot fleksibel yang digunakan untuk produsen sistem komersial. Desain perangkat dari proyek Pixhawk FMUV3 dan menjalankan PX4 pada sistem operasi NuttX. HEX Cube Black didesain khusus untuk mengurangi pengkabelan yang sangat rumit, meningkatkan keandalan dan memudahkan perakitan, untuk Pixhawk 2.1 dapat dilihat pada gambar 2.3 [11].

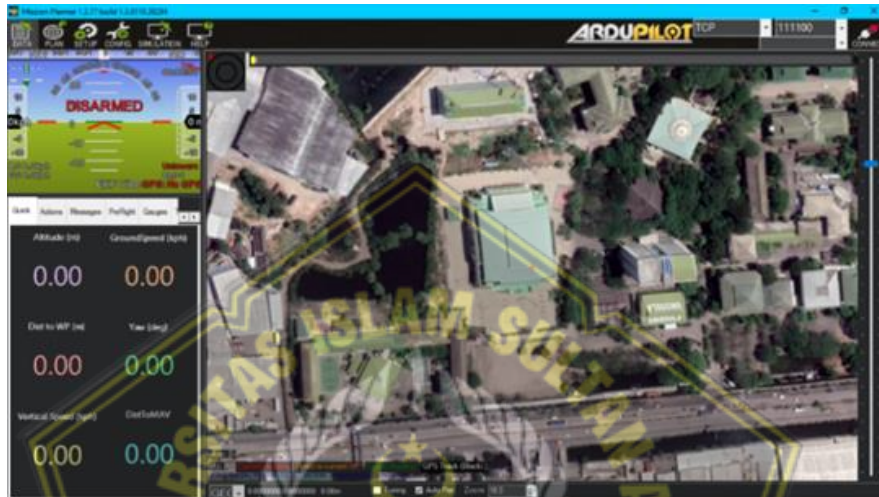


Gambar 2. 3 Hex Cube Black (Pixhawk 2.1)

2.2.3 Mission Planner

Mission Planner merupakan aplikasi yang dikembangkan oleh Michael Obone untuk proyek *open source autopilot* APM. Aplikasi ini merupakan stasiun kendali darat untuk *Plane*, *Copter* dan *Rover* yang digunakan untuk suplemen kendali dinamis pada kendaraan otonom [12]

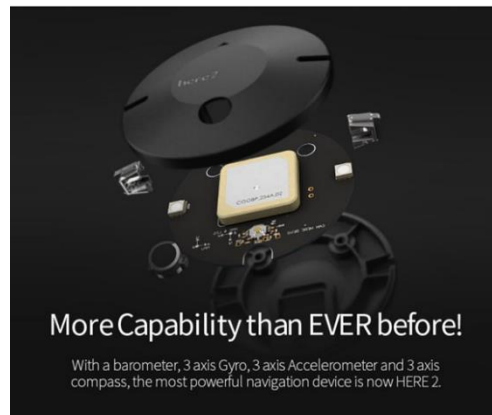
Mission Planner menggunakan platform C# untuk penggunaan pada komputer Windows/Linux (meskipun dapat dijalankan di Mac menggunakan mono). Aplikasi ini adalah aplikasi yang paling lengkap dalam penggunaan perencanaan pra-penerbangan, pemantauan saat penerbangan, dan analisa berkas *log* pasca penerbangan, aplikasi mission planner dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Tampilan Mission Planner

2.2.4 GNSS Here2

HERE2 adalah produk perangkat navigasi buatan perusahaan HEX/PROFICNC yang telah ditingkatkan kemampuannya secara menyeluruh dari produk generasi sebelumnya sehingga cocok digunakan pada produk-produk keluaran industri yang membutuhkan persyaratan keamanan dan keandalan yang lebih tinggi seperti misi otonom jarak jauh luar ruangan, pemeriksaan keamanan, pengawasan tanaman pertanian, dan lain-lain. Perangkat GNSS here2 dapat dilihat pada gambar 2.5 dengan arsitektur dan kode berupa perangkat *open source* cocok bagi pengembang yang membutuhkan fungsi navigasi secara khusus dan mengembangkan secara mendalam berdasarkan fitur-fitur navigasi yang tersedia [13].



Gambar 2. 5 GPS Here2

2.2.5 GNSS Here 3

Here3 merupakan sistem GNSS dengan kepresisian tinggi, yang juga mendukung mode navigasi RTK dan dibangun dengan protokol CAN ditunjukkan pada gambar 2.6. GPS ini juga didesain untuk tahan terhadap debu dan percikan air. Dilengkapi oleh prosesor STM32F302, Here3 memberikan pemrosesan data yang tinggi dan reliabilitas yang baik. Here3 sudah terintegrasi dengan banyak sensor, seperti kompas, giroskop, akselerometer, dan LED status. Untuk spesifikasi dari GNSS Here3 ini dapat dilihat pada tabel 2.2, GNSS ini dijalankan menggunakan sistem operasi Chibios, yang merupakan sistem *open source* yang ideal digunakan untuk para developer yang membutuhkan sistem operasi dalam sistem navigasi mereka [10].



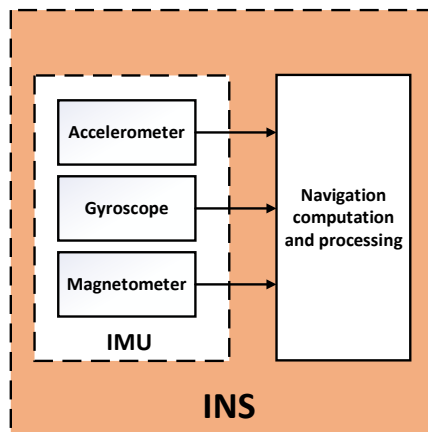
Gambar 2. 6 GPS Here3

Tabel 2. 2 Spesifikasi GNSS Here3

Prosesor	STM32F302
Sensor	Sensor IMU ICM20948 (Magnetometer, Gyrometer, Akselerometer)
GPS Receiver	U-blox Neo M8P
Akurasi Posisi	3D Fix: 2,5 m / RTK: 0,025 m
GNSS	Sudah didukung GNSS
Pembaruan Navigasi	8 Hz
ROM	Flash (Neo-M8P)
Antena	Antena aktif dan antenna pasif
Protokol Komunikasi	CAN

2.2.6 IMU (Inertial Measurement Unit)

IMU adalah perangkat yang melakukan pengukuran data dalam INS (*Inertial Navigation System*), yang biasanya terdiri dari akselerometer ortogonal tiga sumbu, giroskop ortogonal tiga sumbu, dan magnetometer ortogonal tiga sumbu. Data hasil pengukuran diolah oleh komputer untuk mengetahui posisi dan arah kendaraan. Dengan memproses sinyal dari sensor ini, dimungkinkan untuk menentukan posisi dan arah objek. Perkembangan terkini dalam struktur perangkat MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*) memungkinkan desain sistem navigasi inersia yang kecil dan ringan. [14].



Gambar 2.7 Konfigurasi umum INS

Pada Gambar 2.7, menampilkan diagram blok INS yang terdiri dari akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada IMU yang berfungsi untuk melakukan pengukuran data, dimana hasil pengukuran tersebut dikirim dan diolah oleh perangkat komputer.

IMU dibagi menjadi dua kategori yang dikenal dengan *Stable Platform System* dan *Strapdown System*. Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah *Strapdown System* [15].

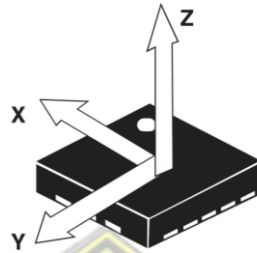
Pada *Strapdown System*, sensor inersia disematkan secara kaku didalam perangkat, yang menyebabkan jumlah keluaran diukur di dalam *body frame*, bukan di dalam *global frame*. Untuk melakukan pengukuran orientasi, sinyal dari giroskop mengalami integrasi dengan sinyal dari sensor lain (terutama akselerometer maupun magnetometer). Untuk melakukan pengukuran posisi, sinyal dari ketiga sumbu akselerometer dipecahkan menjadi koordinat global menggunakan orientasi yang diketahui, yang didapatkan dari integrasi dengan sinyal giroskop [14].

Masing-masing sensor dalam IMU (akselerometer, giroskop, dan magnetometer) dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Akselerometer

Akselerometer merupakan sensor elektro-mekanikal yang sensitif terhadap gaya statis maupun dinamis pada akselerasi. Gaya statis meliputi gravitasi, sedangkan gaya dinamis meliputi getaran dan gerakan. Sensor tersebut dapat

mengukur akselerasi pada satu, dua, atau tiga sumbu, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.8. Sensor tersebut bekerja dengan menginduksi perpindahan dari *proof mass* pada sumbu x, y, z, dan pengukuran perpindahan diferensial sensor kapasitif [16].

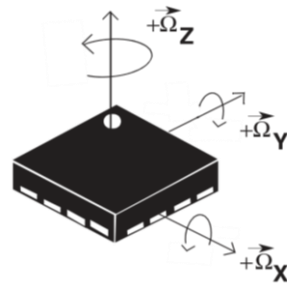


Gambar 2. 8 Akselerometer

Sensor tersebut dapat digunakan untuk mengukur kemiringan yang diakibatkan oleh percepatan yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi, serta mengukur akselerasi yang merupakan besar perubahan dari kecepatan suatu benda. Sensor ini melakukan pengukuran dalam meter per sekon kuadrat (m/s^2) atau dalam *gforce* (g), dimana 1 g setara dengan $9.8 m/s^2$ [14].

2. Giroskop

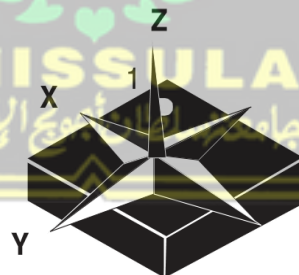
Giroskop adalah sensor yang dapat melakukan pengukuran kecepatan sudut yang berfungsi untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, yang berdasarkan pada prinsip-prinsip momentum sudut. Sensor tersebut dapat mengukur kecepatan sudut dalam *radian per second* (rad/s). Kecepatan sudut pada dasarnya adalah pengukuran kecepatan rotasi. Sensor tersebut mengukur rotasi disekitar sumbu x, y, dan z [16]. Benda yang berotasi pada suatu sumbu mempunyai kecepatan sudut. Jika sensor berada tegak lurus dengan sumbu z, maka sensor dapat mengukur kecepatan sudut pada sumbu z. Sedangkan kedua sumbu yang lain tidak melakukan pengukuran rotasi apapun. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.9, sensor tersebut dapat mengukur kecepatan rotasi yang terjadi di sekitar sumbu x, y, dan z [14].



Gambar 2. 9 Giroskop

3. Magnetometer

Magnetometer adalah sensor yang dapat melakukan pengukuran kekuatan dan arah medan magnet. Sensor ini juga digunakan untuk melakukan kalibrasi elektromagnet dan magnet permanen serta untuk mengetahui magnetisasi pada sebuah benda [14]. Sensor tersebut melakukan pengukuran pada sumbu x, y, dan z seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Teknologi sensor Hall dengan sensitivitas tinggi digunakan pada magnetometer. Bagian sensor dari *intergrated circuit* (IC) menggabungkan sensor magnetik untuk mendeteksi magnet terestrial pada sumbu x-y-z, rangkaian pengendali sensor, rantai penguat sinyal, dan rangkaian aritmatika untuk memproses sinyal dari tiap sensor [16].



Gambar 2. 10 Magnetometer

2.2.7 Kecepatan

Kecepatan kendaraan adalah rata-rata jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada suatu ruas jalan dalam satu satuan waktu tertentu. Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor manusia, kendaraan dan prasarana, serta dipengaruhi pula oleh arus lalu lintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam sekitarnya. Dengan didapatnya waktu perjalanan dan jarak perjalanan maka

kecepatan perjalanan dan kecepatan bergerak akan didapat [17]. Sehingga, dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$$V = s/t \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

V = Kecepatan (km/jam, m/det).

s = Jarak yang ditempuh (km, m).

t = Waktu tempuh kendaraan (jam, det).

2.2.8 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan istilah singkatan dari suatu sistem satelit navigasi yang menyediakan posisi geospasial dalam lingkup global. GNSS beroperasi secara penuh sejak Desember 2009. Diawali dengan sistem *Global Positioning System* (GPS) yang merupakan suatu konstelasi yang terdiri tidak kurang dari 24 satelit yang menyediakan informasi koordinat posisi yang akurat secara global. GPS mempergunakan satelit dan komputer untuk melakukan penghitungan posisi di manapun di 2 muka bumi ini. Sistem ini dimiliki, dioperasikan dan dikontrol oleh *United States Departement of Defenses* (DoD). GNSS dapat dipergunakan secara global di manapun dan oleh siapapun di muka bumi ini secara gratis [18].

Seiring dengan perkembangan Satelit GPS, GLONASS yang merupakan sistem GNSS yang dimiliki oleh Russia mempunyai cakupan seluruh dunia dengan 18 satelit yang tersedia sejak Desember 2009, dan satelit GALILEO milik Eropa juga COMPASS milik China sedang dikembangkan. GLONASS (*GLO*bal'*naya* *NA*vigatsionnaya *Sputnikovaya* *Sistema*) merupakan sistem navigasi ruang angkasa milik Russia yang bisa disamakan dengan sistem GNSS milik Rusia. Satelit berjumlah 21 pada 3 bidang orbit datar.

NAVSTAR GPS atau yang paling sering disebut dengan GPS saja merupakan satelit yang dibuat dan dioperasikan Amerika Serikat diluncurkan sejak 22 Februari 1978 untuk kepentingan penentuan posisi dan navigasi. Sampai saat ini terdapat 32 satelit GPS yang sehat untuk kepentingan penentuan posisi dan navigasi.

GLONASS adalah sistem satelit navigasi global kedua setelah GPS. Pembangunan satelit GLONASS dimulai pada tahun 2001 dengan peluncuran satelit ke orbitnya oleh pemerintah Rusia. Hingga saat ini terdapat 29 satelit yang aktif, namun hanya terdapat 24 satelit dengan kondisi yang sehat.

Galileo merupakan satelit yang dibuat oleh negara-negara yang tergabung dengan Uni Eropa. Pembangunan satelit GLONASS dilaksanakan oleh Komisi Eropa (*European Commission*) dan ESA (*European Space Agency*). ESA bekerja sama dengan Galileo Industries Company GmbH (sekarang menjadi *European Satellite Navigation Industries* = ESNI). Jika GPS dan GLONASS tujuan awalnya untuk kepentingan militer, maka Galileo tujuan awalnya memang untuk kepentingan pembangunan ekonomi dunia dan kepentingan sipil. Pada tahun 2013, menurut tahapan pembangunannya sudah bisa beroperasi secara penuh dengan 27 (+3) satelit Galileo beroperasi penuh.

China pada tahun 2000 memulai mengembangkan satelit untuk keperluan penentuan posisi dan navigasi. Satelit untuk penentuan posisi dan navigasi ini diberi nama COMPASS tetapi jika dalam bahasa China dinamakan Beidou. Terdapat tiga tahap pengembangan satelit Beidou ini : Tahap I (periode 2000 – 2003) pembangunan awal satelit sistem penentuan posisi di dalam negeri China, Tahap II pada tahun 2012 sudah dapat menjangkau seluruh kawasan Asia Pasific, Tahap II pada tahun 2020 sudah bisa menjangkau seluruh dunia. Segmen angkasa sistem COMPASS direncanakan akan terdiri dari lima satelit GEO dan 30 satelit non-GEO.

2.2.9 Haversine

Haversine Formula merupakan metode untuk mengetahui jarak antar dua titik dengan memperhitungkan bahwa bumi bukanlah sebuah bidang datar namun adalah sebuah bidang yang memiliki derajat kelengkungan. Metode *Haversine Formula* menghitung jarak antara 2 titik dengan berdasarkan panjang garis lurus antara 2 titik pada garis bujur dan lintang [19], [20].

$$d = 2R \cdot \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_2) \cdot \cos(\phi_1) \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

d = Jarak

R = Radius Bumi 6371 km

ϕ_1 = Latitude 1

λ_1 = Longitude 1

ϕ_2 = Latitude 2

λ_2 = Longitude 2



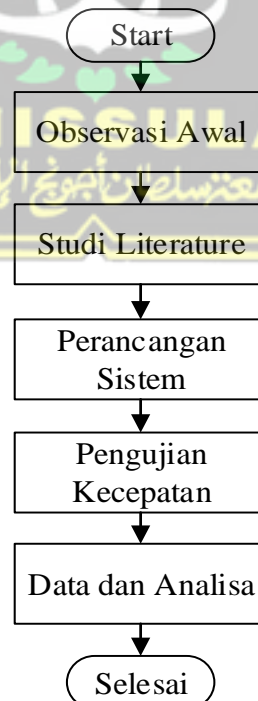
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Umum

Penelitian ini dilakukan di tempat yang sedikit halangan dan banyak halangan yaitu di jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya. Penelitian ini menggunakan Cube Black Pixhawk 2.1 dengan GNSS Here2 dan GNSS Here3, Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi kecepatan yaitu 10,20,30,40, dan 50 km/h dan dilakukan sebanyak 3 kali tiap variasi kecepatan pengambilan data, untuk metode penelitian ditampilkan pada gambar 3.1.

Pengujian ini dilakukan dengan metode beberapa rute dan beberapa variasi kecepatan, tujuannya mengetahui tingkat akurasi pembacaan kecepatan ketika dilakukan pengujian di tempat sedikit halangan dan tempat banyak halangan. Kemudian kendaraan akan bergerak mengikuti rute yang sudah ditentukan dan sesuai dengan kecepatan yang sudah ditentukan, yang nantinya sensor-sensor pada GPS akan membacanya, kemudian data akan tersimpan dalam *log telemetry*.



Gambar 3.1 Flowchart Metode Penelitian

Keterangan :

1. Observasi awal

Observasi dilakukan untuk mendapatkan data awal pengujian. Dari tahapan ini akan diperoleh hipotesa awal serta kendala dan permasalahan terkait dengan pengambilan data navigasi yang akan dilakukan untuk mendapatkan pembacaan sensor dan akurasi kecepatan yang tinggi. Observasi dilakukan di jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya berupa kegiatan pengujian pembacaan kecepatan rute yang berbeda.

2. Studi Literatur

Untuk memperkuat observasi yang dilakukan, perlu pendalaman materi yang diperoleh dari literatur, baik yang bersumber dari jurnal, prosiding ataupun publikasi yang terkait dengan tema penelitian. Literatur yang banyak dikaji antara lain, materi tentang metode pengujian pembacaan kecepatan dan juga literatur mengenai penggunaan perangkat GNSS untuk pembacaan kecepatan.

3. Perancangan sistem pengujian

Tahapan ini berupa mendesain rancangan metode pengujian kecepatan yang akan dilakukan termasuk di dalamnya menyiapkan semua bahan dan perangkat uji serta peralatan yang dibutuhkan.

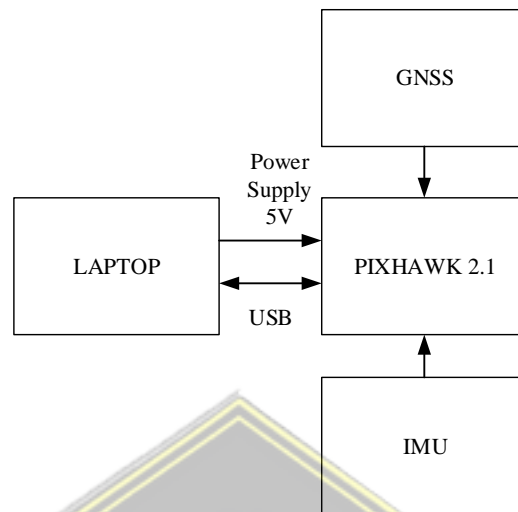
4. Pengujian Kecepatan

Pengujian kecepatan dilakukan dengan menguji pembacaan sensor pada GNSS Here2 dan GNSS Here3

5. Data dan Analisa

Tahapan ini akan membahas hasil pengujian kecepatan menggunakan *controller* Pixhawk 2.1. Hasil pengujian akan dikaji dan dianalisa untuk mendapatkan unjuk kerja masing-masing sensor dan didapatkan hasil pengujian.

3.2 Blok Diagram



Gambar 3. 2 Blok Diagram

Laptop terpasang perangkat lunak Mission Planner sebagai masukan catu daya bagi perangkat Cube Black (Pixhawk 2.1). GNSS Here2 dan GNSS Here3 yang di dalamnya terdapat modul u-blox NEO-M8N dan u-blox NEO-M8P dan sensor IMU seperti pada gambar 3.2 yang berfungsi untuk mendapatkan data titik-titik koordinat, dan juga mendapatkan data kecepatan. Cube Black (Pixhawk 2.1) dilengkapi dengan *chip* penyimpanan *microSD* sehingga data-data dari HERE2 GNSS dapat tersimpan sebagai *log-log* berkas.

No	Perangkat	Deskripsi
1.	Pixhawk - Prosesor : 32-bit ARM Cortex M4 inti dengan FPU - 168 Mhz/256 KB RAM/2 MB Flash - 32-bit <i>failsafe</i> prosesor cadangan	Modul <i>controller</i> yang digunakan adalah Pixhawk 2.1. Modul ini biasanya digunakan pada pengendali penerbangan seperti <i>drone</i> maupun <i>quadcopter</i> . Kelebihan modul ini adalah memiliki 3 buah sistem IMU (<i>Inertial Measurement Unit</i>) redundan yang terdiri dari 3 Akselerometer, 3 Sensor Giroskop, 3 Magnetometer, dan 3 Barometer yang tertanam pada <i>Cube black</i> .

2.	GNSS - Receiver yang digunakan U-blox Neo-M8N dan Ublox Neo-M8P	Modul GPS/GNSS yang digunakan adalah GNSS Here2 dan Here3. Modul ini mampu menerima hingga 3 GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou) secara bersamaan, dan jenis <i>receiver</i> yang digunakan yaitu U-blox Neo-M8N dan U-blox Neo-M8P
3.	IMU - Sensor IMU yang digunakan ICM20948	GPS/GNSS ini telah dilengkapi dengan sensor ICM20948 (magnetometer, giroskop, dan akselerometer).

3.3 Lokasi dan Rute Pengujian

Pada penelitian ini pengujian dilakukan di jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya, di karenakan lokasi tersebut memiliki karakteristik berbeda. Jalan Madukoro Raya memiliki karakteristik sedikit penghalang atau terbuka, sedangkan jalan Marina Raya banyak penghalang atau tertutup. dengan harapan dapat mengetahui kinerja GNSS Here2 dan GNSS Here3 ketika di tempat yang sedikit penghalang dan banyak penghalang. Pada gambar 3.3 dan gambar 3.4 ditunjukkan lokasi pengujian kecepatan dengan lintasan yang lurus.

3.3.1 Jalan Madukoro raya



Gambar 3. 3 Jalan Madukoro Raya

Pada gambar 3.3 menunjukkan rute dari jalan Madukoro Raya. Pada jalan Madukoro Raya memiliki kondisi sedikit penghalang, karena pepohonan di sepanjang jalan Madukoro Raya tidak terlalu rimbun baik di pinggir jalan maupun di median jalan. Untuk pengujian kecepatan 10,20, dan 30 km/h menempuh rute sepanjang 400 m, sedangkan untuk pengujian kecepatan 40 dan 50 km/h menempuh rute sepanjang 600 m. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali setiap variasi kecepatan.

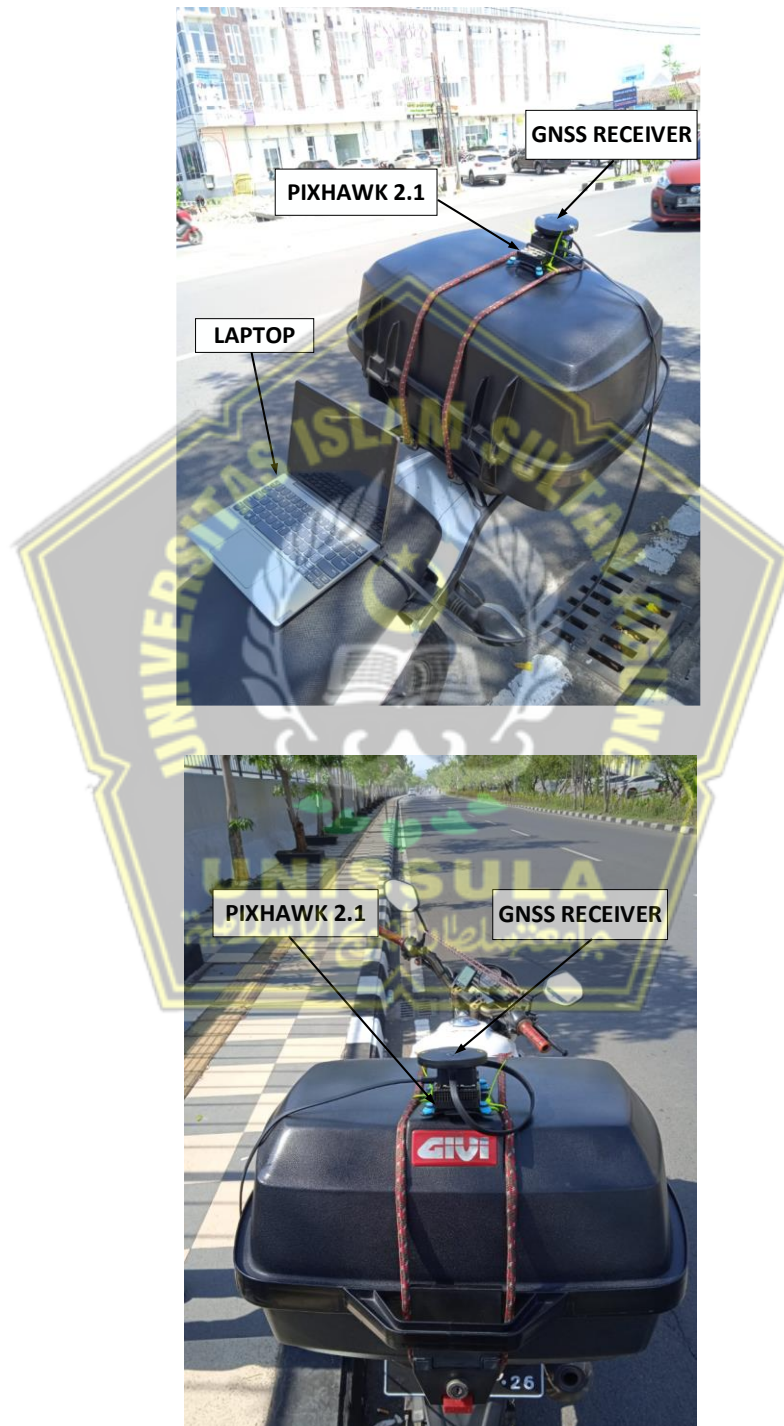
3.3.2 Jalan Marina Raya



Pada gambar 3.4 menunjukkan rute dari jalan Marina Raya. Pada jalan Marina Raya memiliki kondisi banyak penghalang, karena pepohonan di sepanjang jalan Madukoro Raya terlalu rimbun baik di pinggir jalan maupun di median jalan. Untuk pengujian kecepatan 10 dan 20 km/h menempuh rute sepanjang 400 m, sedangkan untuk pengujian kecepatan 30,40, dan 50 km/h menempuh rute sepanjang 750 m. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali setiap variasi kecepatan.

3.4 Perancangan *Hardware*

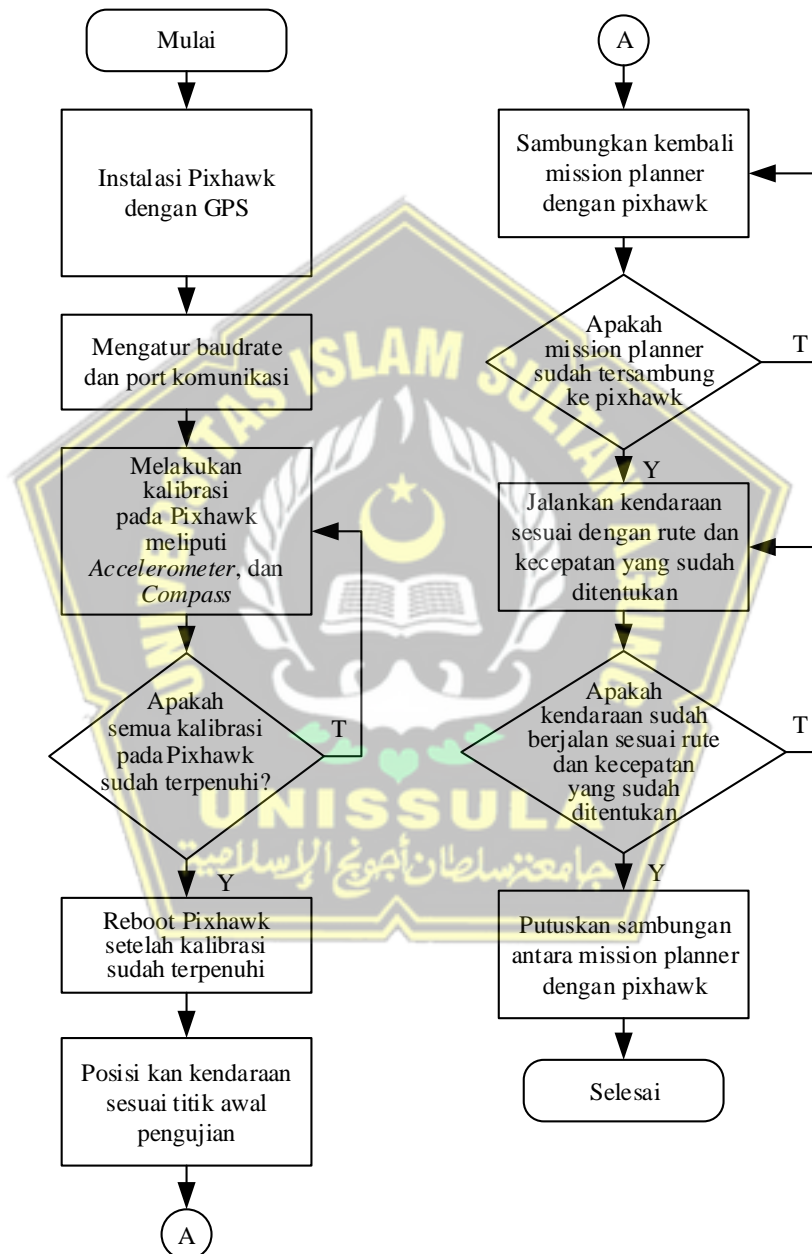
Perancangan hardware pada pengujian kecepatan dapat dilihat pada gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Perancangan *Hardware*

3.5 Flowchart Pengujian Sistem

Pada gambar 3.6 menunjukkan tahap tahap metode pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data *log* pengujian kecepatan. Pada pengujian kecepatan ini dilakukan sebanyak 3 kali tiap variasi kecepatan.



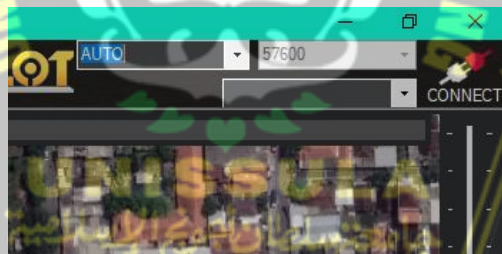
Gambar 3.6 Flowchart Pengujian Sistem

1. Pada awal pengujian melakukan instalasi Pixhawk 2.1 dengan GPS.



Gambar 3. 7 Instalasi Pixhawk dengan GPS

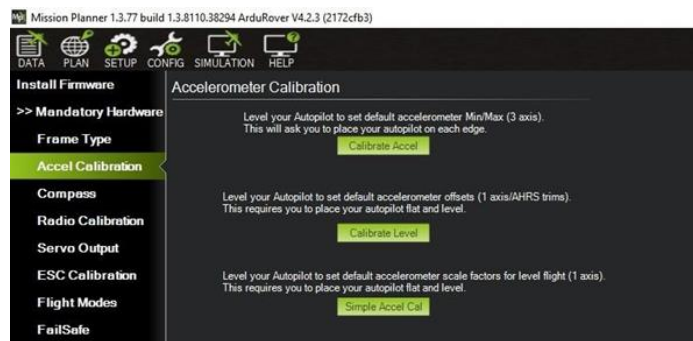
2. Pada saat membuka *software* Mission Planner harus mengatur *baudrate* dan *port* komunikasi yang ditunjukkan pada gambar. *Baudrate* adalah kecepatan data yang dikirim melalui komunikasi serial, sedangkan *port* komunikasi yaitu untuk mengatur *port* komunikasi. Jika sudah sesuai bisa diklik *connect*. Pada proses *connect* tersebut artinya Mission Planner sedang menyambungkan ke *controller* Pixhawk 2.1. Apabila sudah selesai proses *connect* maka (Mission Planner) sudah terhubung ke *controller*.



Gambar 3. 8 Mengatur *Port* Komunikasi dan *Baudrate*

3. Sebelum memulai pengujian kecepatan, ada beberapa sensor dan perangkat yang harus dikalibrasi terlebih dahulu. Sensor yang harus dikalibrasi yaitu sensor akselerometer dan kompas, Masing-masing proses kalibrasi adalah sebagai berikut :
 - a. Kalibrasi sensor akselerometer

Pada proses kalibrasi akselerometer ini bertujuan mengetahui posisi kendaraan apakah sudah dalam posisi berdiri normal atau terbalik. Hal ini terlihat pada aplikasi Mission Planner saat proses pengkalibrasian.

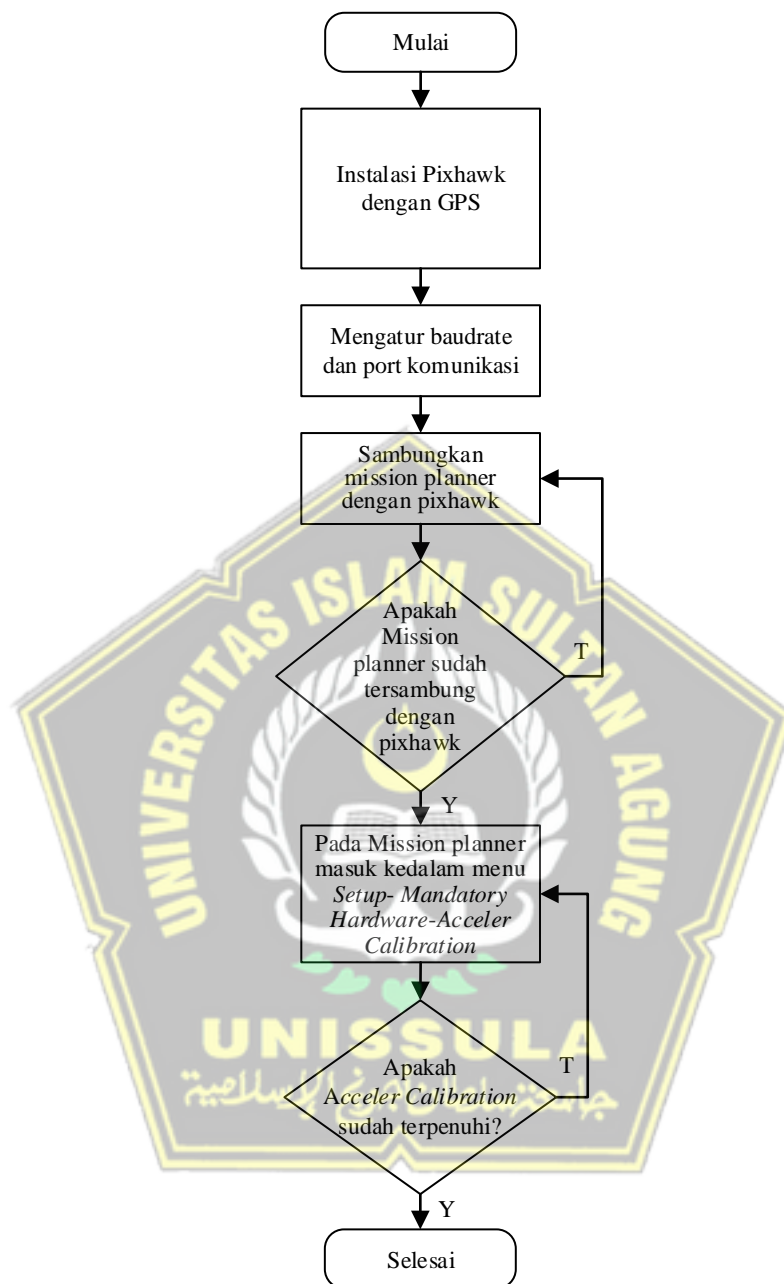


Gambar 3. 9 Menu Kalibrasi akselerometer pada *software* Mission Planer

Tabel 3. 1 Kalibrasi Akselerometer

Kalibrasi	Keterangan
<i>Place Vehicle Level</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Normal
<i>Place Vehicle on is Left</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Miring ke Kiri
<i>Place Vehicle on is Right</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Miring ke Kanan
<i>Place Vehicle nose Down</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Menghadap ke Bawah
<i>Place Vehicle nose Up</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Menghadap ke Atas
<i>Place Vehicle on is Back</i>	Pixhawk dan GPS dalam Posisi Terbalik

Menu kalibrasi akselerometer ditunjukkan pada gambar 3.9, pada proses kalibrasi akselerometer terdapat 6 langkah, yaitu pertama adalah Pixhawk dan GPS dalam posisi normal, posisi normal ini akan menentukan langkah selanjutnya. Langkah kedua adalah Pixhawk dan GPS dalam posisi miring ke kiri. Selanjutnya Pixhawk dan GPS dalam posisi miring ke kanan. Kemudian Pixhawk dan GPS dalam posisi menghadap ke bawah. Selanjutnya Pixhawk dan GPS dalam posisi menghadap ke atas. Dan yang terakhir adalah Pixhawk dan GPS dalam posisi terbalik. Semua langkah yang ada pada tabel akan dipandu oleh program Mission Planner. Proses kalibrasi ini untuk mengetahui apakah posisi kendaraan miring ke kiri atau miring ke kanan atau terbalik dan sebagainya, hal tersebut akan terlihat di layar laptop.

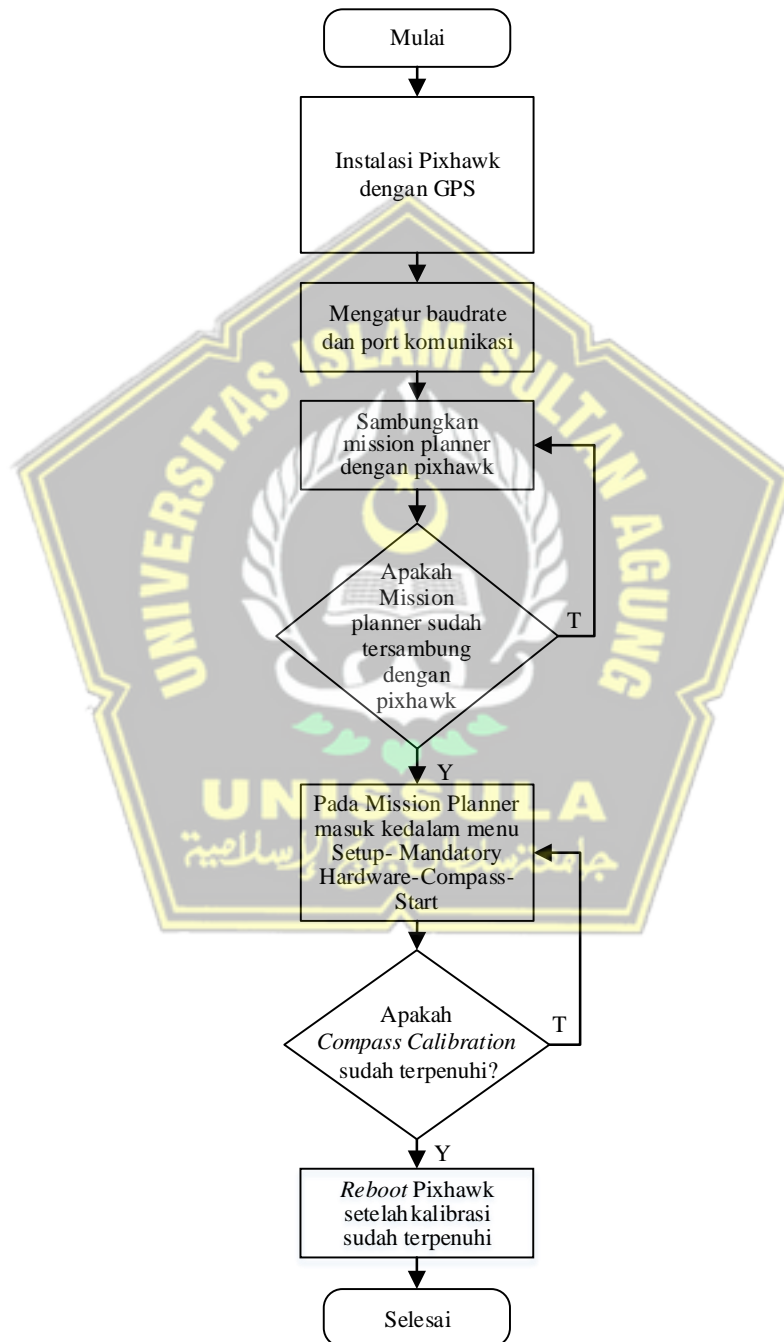


Gambar 3. 10 Flowchart kalibrasi sensor akselerometer

b. Kalibrasi sensor kompas

Kalibrasi kompas berfungsi untuk mengetahui arah kendaraan dilokasi pengujian, agar pada saat sudah dijalankan kendaraan tersebut sudah menghadap arah yang benar. Gambar akan ditunjukkan *flowchart* kalibrasi. Cara kalibrasi ini adalah dengan cara memutar 90° pada

beberapa posisi, akan terlihat juga pada tampilan Mission Planner waktu proses pengkalibrasian. Tujuan kalibrasi ini supaya arah kendaraan sesuai dengan yang diinginkan, hal ini dikarenakan tanpa adanya kalibrasi kompas banyak kendaraan yang tidak sesuai arah hadap dan arah jalannya.



Gambar 3. 11 Flowchart kalibrasi sensor kompas

4. Kendaraan ditempatkan pada titik mulai rute pengujian kecepatan.



Gambar 3. 12 Kendaraan di titik awal

5. Mission planner harus tersambung dengan Pixhawk untuk memulai pengujian kecepatan, dengan cara mengklik *connect* pada Mission Planner.
6. Kendaraan bergerak sesuai dengan rute yang sudah ditentukan dan dengan kecepatan yang sudah ditentukan.
7. Memutuskan sambungan mission planner dan pixhawk setelah sampai di titik akhir pengujian, dengan mengklik *disconnect* agar mission planner dapat menyimpan data log pengujian.
8. Pengujian diulang dengan alur yang sama untuk jenis perangkat GNSS yang berbeda yaitu GNSS HERE2 dan GNSS HERE3.

3.6 Flowchart Pengolahan Hasil Pengujian

3.6.1 Flowchart Pengambilan Data Log GNSS



Gambar 3. 13 Flowchart data log GNSS

3.6.2 Flowchart Konversi Data Latitude dan Longitude ke meter



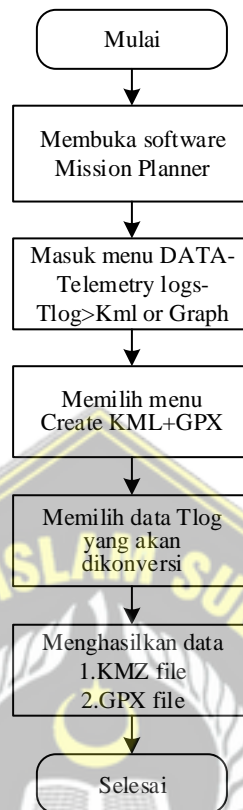
Gambar 3. 16 Flowchart Konversi Data Latitude dan Longitude ke meter

1. Setelah mendapatkan data *groundspeed*, *latitude*, dan *longitude*, membuka *software* Microsoft excell, menyalin data dari matlab dan memindahkan data ke excell.
2. Mencari titik stabil kecepatan, dan mencari rata rata kecepatan stabil *groundspeed*, setelah mendapatkan rata rata kecepatan stabil, hasil dari rata rata kecepatan stabil dijadikan sebagai kecepatan IMU.
3. Dari data *latitude* dan *longitude* kemudian dikonversi ke meter menggunakan rumus *haversine*, mencari titik stabil kecepatan, dan menghitung jarak dari titik awal stabil dan titik akhir stabil, setelah mendapatkan jarak, kemudian mencari waktu dengan cara mencari selisih waktu dari titik awal stabil dan titik akhir stabil.
4. Setelah mendapatkan data jarak dan waktu, kemudian menghitung kecepatan dengan rumus $V=s/t$, yaitu jarak dibagi dengan waktu, dan akan menghasilkan data kecepatan rata rata yang digunakan sebagai kecepatan GNSS.

	waktu	ground speed	lat	lon	Haversine
24	13.96768856	-6.9608076	110.3927832	6.945729382	0
24	13.92261029	-6.9608076	110.3927832	6.945729382	0
24	13.91389275	-6.9607489	110.3927745	6.937400631	0
24	14.06651878	-6.9607489	110.3927745	6.937400631	0
25	13.91298962	-6.9606848	110.392766	7.189075682	0
25	14.19888973	-6.9606848	110.392766	7.189075682	0
25	14.00509951	-6.9606223	110.3927565	7.028341443	0
25	14.31240082	-6.9606223	110.3927565	7.028341443	0
26	14.31419277	-6.9605614	110.3927488	6.824595369	0
26	14.17301083	-6.9605614	110.3927488	6.824595369	0
26	14.30288029	-6.9604953	110.3927412	7.39768889	0
26	14.1054678	-6.9604953	110.3927412	7.39768889	0
27	14.12141228	-6.9604325	110.3927333	7.037271595	0
27	14.02226734	-6.9604325	110.3927333	7.037271595	0
27	14.14831924	-6.9603722	110.3927249	6.768852493	0
27	14.2142849	-6.9603722	110.3927249	6.768852493	0
28	14.0520153	-6.9603065	110.3927158	7.374230845	0
28	14.20070839	-6.9603065	110.3927158	7.374230845	0
29	14.31911755	-6.9601813	110.3926977	14.04220636	39
21	14.12487464			546.5136746	39
22	50.84954871			14.01171114	39
23				50.44781672	39

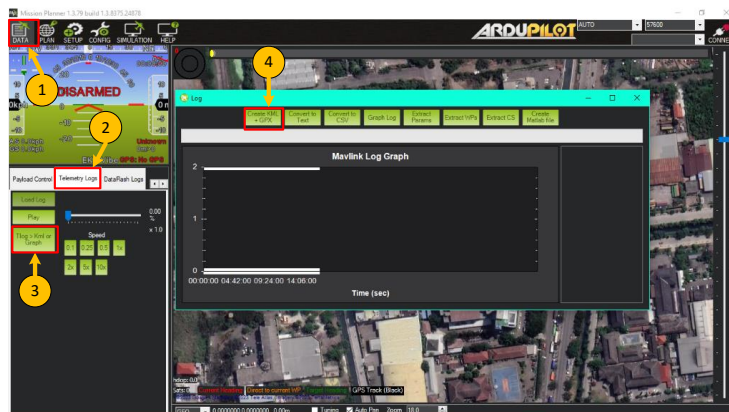
Gambar 3. 17 Perhitungan data kecepatan IMU dan GNSS

3.6.3 Flowchart Pengambilan Data Log Google Earth



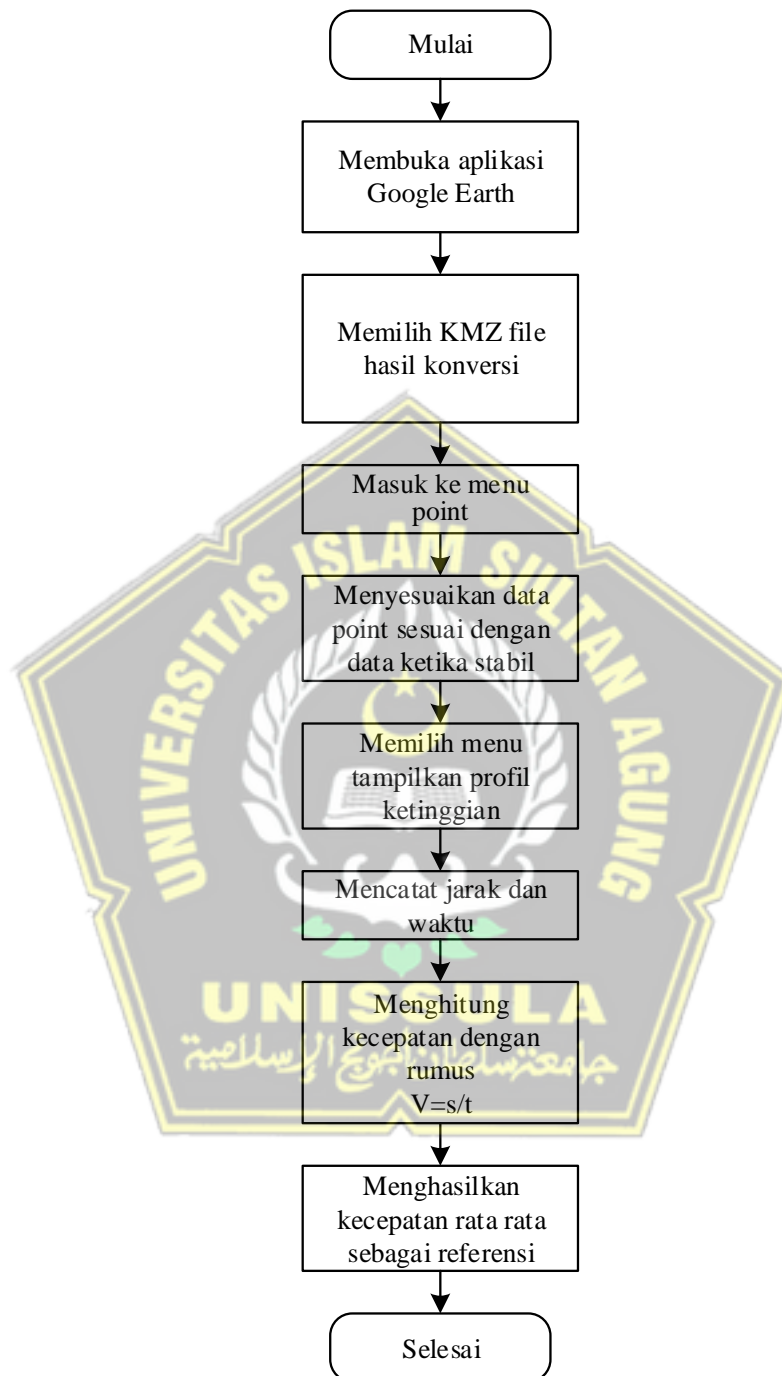
Gambar 3. 18 Pengambilan Data Log Google Earth

1. Pada proses pengambilan data *log* Google Earth yang pertama dilakukan membuka *software mission planner*.
2. Setelah membuka *software mission planner*, selanjutnya masuk ke menu data – telemetry logs – Tlog>Kml or graph, dan memilih menu create KML+GPX, pada proses ini akan memilih data Tlog yang akan dikonversi, dan kemudian di dapatkan data KMZ file dan GPX file.



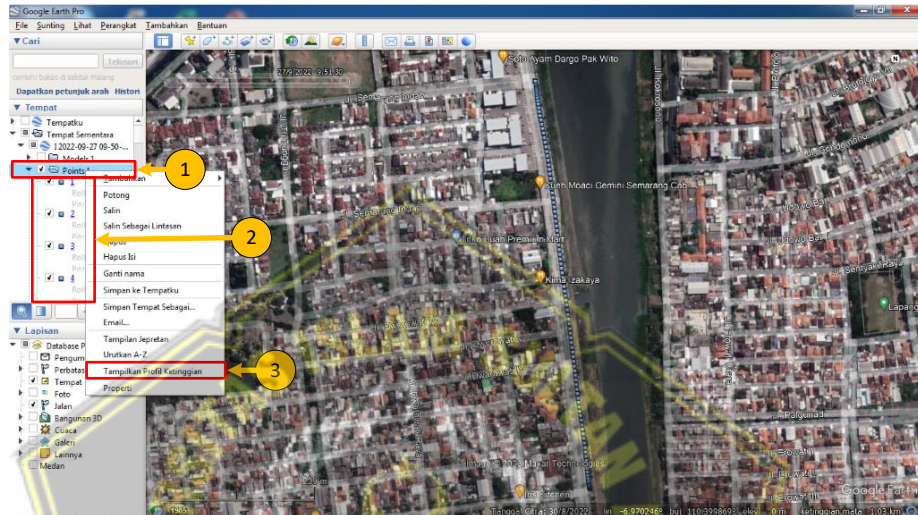
Gambar 3. 19 Mengonversi data Tlog

3.6.4 Flowchart Menentukan Titik Referensi



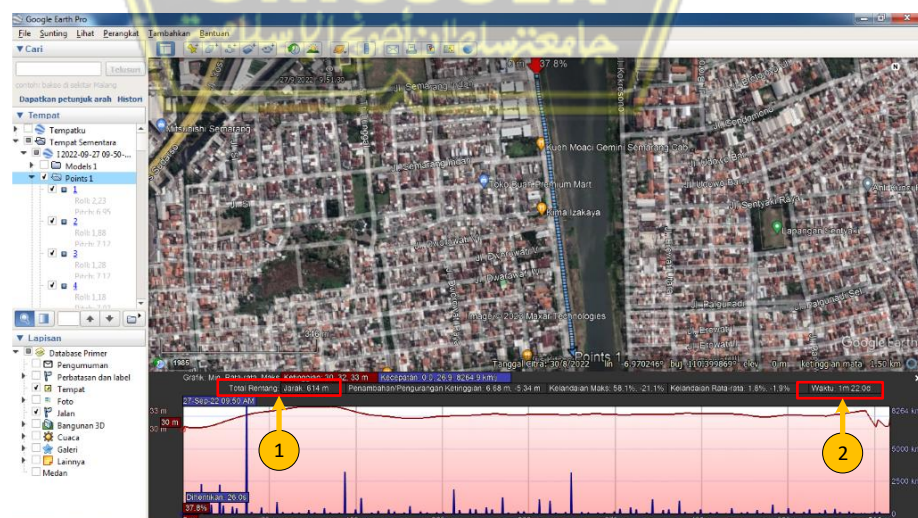
Gambar 3. 20 Flowchart Menentukan Titik Referensi

1. Setelah mendapatkan file KMZ, membuka *software* google earth, dan memilih file KMZ hasil konversi, kemudian masuk ke menu point, dan di menu point memilih data yang sesuai dengan data *latitude* dan *longitude* ketika stabil, setelah disesuaikan klik kanan pada menu point, dan memilih parameter tampilkan profil ketinggian.



Gambar 3. 21 Memilih data kecepatan referensi

2. Setelah menampilkan profil ketinggian, maka akan mendapatkan data jarak dan waktu, kemudian menghitung kecepatan dengan rumus $V=s/t$, yaitu jarak dibagi dengan waktu, dan akan menghasilkan data kecepatan rata rata yang digunakan sebagai kecepatan referensi.



Gambar 3. 22 Nilai jarak dan waktu kecepatan referensi

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Analisa lokasi

Pengujian ini membahas tentang pengujian pengukuran kecepatan yang diuji di jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya, situasi kendaraan di jalan Marina Raya lebih sepi daripada situasi kendaraan di jalan Madukoro Raya sedangkan untuk lebar dari jalan Marina Raya memiliki lebar 21 meter dan jalan Madukoro Raya memiliki lebar 18 meter, dan untuk pepohonan di jalan Marina Raya sangat rindang sampai bagian langit langit tertutup oleh ranting ranting pohon sedangkan untuk jalan Madukoro Raya memiliki pohon yang tidak rindang dan masih ada celah ditiap pohon, untuk kondisi dari jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Jalan Madukoro Raya



Gambar 4. 2 Jalan Marina Raya

4.2 Hasil Pengujian Jalan Madukoro Raya

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian

Waktu (s)	Groundspeed (m/s)	Lattitude (°)	Longitude (°)	Haversine (m)
36	13.77354527	-6.96823	110.3999782	0
36	14.01196671	-6.96823	110.3999782	0
37	13.97243214	-6.9683535	110.4000013	13.96725402
37	14.03993225	-6.9683535	110.4000013	0
37	13.78660583	-6.9683535	110.4000013	0
37	13.95803165	-6.9683535	110.4000013	0
38	13.65801048	-6.968475	110.400022	13.70200946
38	13.69121075	-6.968475	110.400022	0
38	13.61007023	-6.968475	110.400022	0
38	13.69139194	-6.968475	110.400022	0
39	13.74709129	-6.968594	110.4000414	13.40432594
39	13.62162113	-6.968594	110.4000414	0
39	13.51873875	-6.968594	110.4000414	0
39	13.59094715	-6.968594	110.4000414	0
40	13.16755295	-6.9687124	110.4000571	13.27903094
40	13.62031269	-6.9687124	110.4000571	0

40	13.71947384	-6.9687124	110.4000571	0
40	13.57832241	-6.9687124	110.4000571	0
41	13.76439857	-6.9688344	110.4000734	13.68455813
41	13.85875511	-6.9688344	110.4000734	0
41	13.7278986	-6.9688344	110.4000734	0
41	14.26337337	-6.9688344	110.4000734	0
42	14.19697285	-6.968963	110.4000905	14.42368599
42	14.40886307	-6.968963	110.4000905	0
42	14.04216671	-6.968963	110.4000905	0
42	13.94196224	-6.968963	110.4000905	0
43	14.21528435	-6.9690911	110.4001068	14.35723669
43	14.17807102	-6.9690911	110.4001068	0
43	13.8959465	-6.9690911	110.4001068	0
43	13.85024452	-6.9690911	110.4001068	0
44	13.99472141	-6.9692135	110.4001224	13.71874013
44	13.47206974	-6.9692135	110.4001224	0
44	14.00006199	-6.9692135	110.4001224	0
44	14.17442608	-6.9692135	110.4001224	0
45	14.02120304	-6.9693377	110.4001378	13.91461713
45	14.13521767	-6.9693377	110.4001378	0
45	14.32098866	-6.9693377	110.4001378	0
45	14.65648365	-6.9693377	110.4001378	0
46	14.10274792	-6.9694656	110.4001535	14.32701253
46	14.23134518	-6.9694656	110.4001535	0
46	14.34605122	-6.9694656	110.4001535	0
46	14.25105095	-6.9694656	110.4001535	0
47	14.25098801	-6.9695927	110.4001679	14.22196452
47	14.34361649	-6.9695927	110.4001679	0
47	14.02937984	-6.9695927	110.4001679	0
47	14.13168907	-6.9695927	110.4001679	0
48	14.20623207	-6.9697194	110.4001827	14.18278313
48	14.18027306	-6.9697194	110.4001827	0
48	14.15767574	-6.9697194	110.4001827	0
48	14.19659328	-6.9697194	110.4001827	0
49	14.28576946	-6.969845	110.4001974	14.06001176
49	13.87573338	-6.969845	110.4001974	0
49	14.26051807	-6.969845	110.4001974	0
49	13.9453249	-6.969845	110.4001974	0
50	13.74457359	-6.96997	110.4002132	14.00833843
50	13.99886513	-6.96997	110.4002132	0
50	13.78842068	-6.96997	110.4002132	0

50	13.53490448	-6.96997	110.4002132	0
51	14.00522995	-6.9700919	110.4002289	13.66497894
51	13.69001102	-6.9700919	110.4002289	0
51	13.5739336	-6.9700919	110.4002289	0
51	13.38202763	-6.9700919	110.4002289	0
52	13.86181545	-6.9702141	110.4002461	13.71999561
52	13.881917	-6.9702141	110.4002461	0
52	13.45815563	-6.9702141	110.4002461	0
52	13.8399725	-6.9702141	110.4002461	0
53	13.24568462	-6.9703355	110.4002637	13.63811927
53	13.39247608	-6.9703355	110.4002637	0
53	13.74804878	-6.9703355	110.4002637	0
53	13.36685944	-6.9703355	110.4002637	0
54	13.58228302	-6.9704576	110.4002809	13.70898303
54	13.28940487	-6.9704576	110.4002809	0
54	13.40977383	-6.9704576	110.4002809	0
54	13.63369465	-6.9704576	110.4002809	0
55	14.01514435	-6.9705835	110.4002982	14.12906117
55	13.75058937	-6.9705835	110.4002982	0
55	14.04866982	-6.9705835	110.4002982	0
55	13.80337715	-6.9705835	110.4002982	0
56	13.79606724	-6.9707096	110.4003156	14.15258991
56	14.02345657	-6.9707096	110.4003156	0
56	13.85123825	-6.9707096	110.4003156	0
56	13.5542593	-6.9707096	110.4003156	0
57	13.62492657	-6.970834	110.4003314	13.94214255
57	13.82304192	-6.970834	110.4003314	0
57	14.15749264	-6.970834	110.4003314	0
57	13.6148138	-6.970834	110.4003314	0
58	14.20908165	-6.9709581	110.4003471	13.90766709
58	13.83392715	-6.9709581	110.4003471	0
58	14.12689877	-6.9709581	110.4003471	0
58	14.06296539	-6.9709581	110.4003471	0
59	14.00338173	-6.9710872	110.400363	14.4621372
59	14.16408539	-6.9710872	110.400363	0
59	14.09100533	-6.9710872	110.400363	0
59	14.3187933	-6.9710872	110.400363	0
60	14.33307171	-6.9712102	110.4003776	13.77158034
60	14.50571442	-6.9712102	110.4003776	0
60	14.32892704	-6.9712102	110.4003776	0
60	14.32837486	-6.9712102	110.4003776	0

61	14.08802414	-6.9713348	110.4003921	13.94701471
61	14.32283783	-6.9713348	110.4003921	0
61	14.03239536	-6.9713348	110.4003921	0
61	14.4115696	-6.9713348	110.4003921	0
62	14.06912231	-6.9714578	110.4004064	13.76774502
62	13.51720619	-6.9714578	110.4004064	0
62	14.36483002	-6.9714578	110.4004064	0
62	14.04476833	-6.9714578	110.4004064	0
63	14.09259605	-6.9715799	110.4004202	13.66207154
63	14.10759735	-6.9715799	110.4004202	0

Dari tabel 4.1 Data hasil pengujian kecepatan 50 km/jam di jalan Madukoro Raya dimana data di atas diambil ketika hasil data *groundspeed* mencapai kecepatan stabil di pengujian kecepatan 50 km/jam hingga diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

- Perhitungan Waktu Stabil

$$\text{Durasi Waktu Stabil} = 63 - 36 = 27 \text{ s}$$

- Perhitungan Kecepatan IMU

Kecepatan IMU

$$= 13,77354527 + 14,01196671 + \dots + 14,09259605 + 14,10759735 / 108$$

$$= 13,93073757 \text{ m/s}$$

- Mengubah Satuan kecepatan IMU

$$\text{Kecepatan IMU} = 13,93073757 \times 3600 / 1000$$

$$= 50,15065527 \text{ km/jam}$$

- Menghitung Jarak tempuh menggunakan Haversine

Jarak tempuh antar data

$$= 2 \times 6371000 \times \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{(-6.9683535x \frac{180}{\pi}) - (-6.96823x \frac{180}{\pi})}{2} \right) + \cos \left(-6.9683535x \frac{180}{\pi} \right) \times \cos \left(-6.96823x \frac{180}{\pi} \right) \times \sin^2 \left(\frac{(110.4000013x \frac{180}{\pi}) - (110.3999782x \frac{180}{\pi})}{2} \right)} \right\}$$

$$= 13,96725402 \text{ m}$$

Total jarak tempuh

$$= 0 + 0 + 13,96725402 + \dots + 0 + 13,66207154 + 0$$

$$= 375,7256552 \text{ m}$$

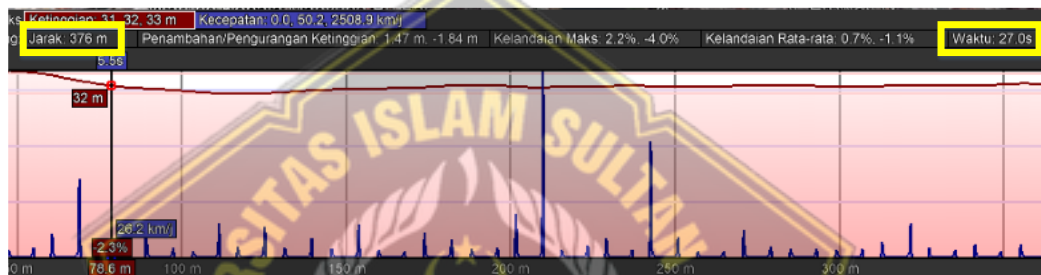
- Menghitung Kecepatan GNSS

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan GNSS} &= \text{Total jarak tempuh} / \text{Durasi waktu} \\ &= 375,7256552 / 27 \\ &= 13,91576501 \text{ m/s}\end{aligned}$$

- Mengubah Satuan Kecepatan GNSS

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan GNSS} &= 13,91576501 \times 3600 / 1000 \\ &= 50,09675402 \text{ km/jam}\end{aligned}$$

- Menghitung Kecepatan Referensi



$$\begin{aligned}\text{Kecepatan Referensi} &= \text{Total jarak tempuh} / \text{Durasi waktu} \\ &= 376 / 27 \\ &= 13,9259259 \text{ m/s}\end{aligned}$$

- Mengubah Satuan Kecepatan Referensi

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan GNSS} &= 13,9259259 \times 3600 / 1000 \\ &= 50,1333332 \text{ km/jam}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan

Durasi Waktu Stabil (s)	27
Kecepatan IMU (m/s)	13,93073757
Kecepatan IMU (km\jam)	50,15065527
Jarak Haversine (m)	375,7256552
Kecepatan GNSS (m/s)	13,91576501
Kecepatan GNSS (km/jam)	50,09675402
Kecepatan Referensi (m/s)	13,9259259
Kecepatan Referensi (km/jam)	50,1333332

Dari hasil pengujian di kecepatan 10,20,30,40, dan 50 km/jam didapatkan hasil perhitungan kecepatan IMU dan GNSS pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

Kecepatan (km/jam)	Referensi (km/jam)			IMU Here 2 (km/jam)			GNSS Here 2 (km/jam)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	10.3149	10.6941	10.4058	10.1053	10.5743	10.2806	10.4038	10.6789	10.4266
20	20.0455	20.16	20.1333	20.0074	20.0149	20.0123	20.3003	20.15	20.1127
30	30.2595	30.1091	30.3568	30.19	29.9174	30.2669	29.8159	30.0812	30.365
40	40.1268	40.4571	40.3714	40.3188	40.1702	40.1917	40.5828	40.3582	40.2926
50	50.1333	51.4957	50.1231	50.1507	50.3238	49.8486	50.0968	50.3953	50.1055

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.3 dilakukan perhitungan akurasi kecepatan IMU dan GNSS sebagai berikut:

- Menghitung error kecepatan IMU

$$\text{error} = \left| \frac{\text{kecepatan referensi} - \text{kecepatan IMU}}{\text{kecepatan referensi}} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{50,1333 - 50,1507}{50,1333} \right| \times 100\%$$

$$= 0,03 \%$$

- Menghitung akurasi kecepatan IMU

$$\text{akurasi} = 100\% - \text{error}$$

$$= 100\% - 0,03\%$$

$$= 99,97\%$$

- Menghitung rata rata akurasi kecepatan IMU

$$\text{rata rata akurasi} = \frac{\text{akurasi1} + \text{akurasi2} + \text{akurasi3}}{3}$$

$$= \frac{99,97\% + 97,72\% + 99,45\%}{3}$$

$$= 99,05\%$$

Dari hasil pengujian di kecepatan 10,20,30,40, dan 50 km/jam didapatkan hasil perhitungan akurasi dan rata rata akurasi kecepatan IMU dan GNSS pada tabel 4.4, tabel 4.5, dan tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 2 (%)			Akurasi GNSS Here 2 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
	10	97.97%	98.88%	98.80%	99.14%	99.86%	99.80%	98.55%
20	99.81%	99.28%	99.40%	98.73%	99.95%	99.90%	99.50%	99.53%
30	99.77%	99.36%	99.70%	98.53%	99.91%	99.97%	99.61%	99.47%
40	99.52%	99.29%	99.55%	98.86%	99.76%	99.80%	99.46%	99.47%
50	99.97%	97.72%	99.45%	99.93%	97.86%	99.96%	99.05%	99.25%

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Referensi (km/jam)			IMU Here 3 (km/jam)			GNSS Here 3 (km/jam)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	10.5143	10.3701	10.3535	10.1053	10.5743	10.2806	10.4038	10.6789	10.4266
20	20.5714	19.9475	19.8885	20.0074	20.0149	20.0123	20.3003	20.15	20.1127
30	30.8903	30.33	30.307	30.19	29.9174	30.2669	29.8159	30.0812	30.365
40	40.5529	40.3364	40.2698	40.3188	40.1702	40.1917	40.5828	40.3582	40.2926
50	50.64	51.2727	51.6857	50.1507	50.3238	49.8486	50.0968	50.3953	50.1055

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 3			Akurasi GNSS Here 3			Rata Rata IMU	Rata Rata GNSS
	(%)			(%)			(%)	(%)
10	96.11%	98.03%	99.30%	98.95%	97.02%	99.29%	97.81%	98.42%
20	97.26%	99.66%	99.38%	98.68%	98.99%	98.87%	98.77%	98.85%
30	97.73%	98.64%	99.87%	96.52%	99.18%	99.81%	98.75%	98.50%
40	99.42%	99.59%	99.81%	99.93%	99.95%	99.94%	99.61%	99.94%
50	99.03%	98.15%	96.45%	98.93%	98.29%	96.94%	97.88%	98.05%

4.3 Hasil Pengujian Jalan Marina Raya

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian

Waktu (s)	Groundspeed (m/s)	Lattitude (°)	Longitude (°)	Haversine (m)
24	13.96768856	-6.9608076	110.3927832	0
24	13.92261028	-6.9608076	110.3927832	0
24	13.91389275	-6.9607489	110.3927745	6.597400631
24	14.06651878	-6.9607489	110.3927745	0
25	13.91298962	-6.9606848	110.392766	7.189075682
25	14.19888973	-6.9606848	110.392766	0
25	14.0050993	-6.9606223	110.3927565	7.028341443
25	14.31240082	-6.9606223	110.3927565	0
26	14.31419277	-6.9605614	110.3927488	6.824895369
26	14.17301083	-6.9605614	110.3927488	0
26	14.30288029	-6.9604953	110.3927412	7.39769889
26	14.1054678	-6.9604953	110.3927412	0
27	14.12141228	-6.9604325	110.3927333	7.037271595
27	14.02226734	-6.9604325	110.3927333	0
27	14.14831924	-6.9603722	110.3927249	6.768852493
27	14.2142849	-6.9603722	110.3927249	0
28	14.0520153	-6.9603065	110.3927158	7.374230845
28	14.20070839	-6.9603065	110.3927158	0
29	14.31911755	-6.9601815	110.3926977	14.04220636
29	14.37754726	-6.9601815	110.3926977	0
29	14.38811111	-6.9601815	110.3926977	0

29	14.30926132	-6.9601815	110.3926977	0
29	14.32713127	-6.9601154	110.3926874	7.437388138
29	14.38663769	-6.9601154	110.3926874	0
30	14.24604893	-6.9600513	110.3926788	7.190524601
30	14.24192333	-6.9600513	110.3926788	0
30	14.2716198	-6.9599902	110.3926713	6.844256876
30	14.18572521	-6.9599902	110.3926713	0
31	14.08085728	-6.9599248	110.392663	7.329625489
31	13.94010735	-6.9599248	110.392663	0
31	13.74177456	-6.959863	110.392656	6.915144919
31	13.89384079	-6.959863	110.392656	0
32	13.74096107	-6.9598038	110.3926496	6.620533778
32	13.78854847	-6.9598038	110.3926496	0
32	13.90346146	-6.9597385	110.3926426	7.302019832
32	13.82800007	-6.9597385	110.3926426	0
33	14.05200958	-6.9596753	110.3926359	7.066322458
33	14.08220482	-6.9596753	110.3926359	0
33	14.13644123	-6.9596145	110.392629	6.803413203
33	14.30803204	-6.9596145	110.392629	0
34	14.342803	-6.9595478	110.3926205	7.475805545
34	14.42501163	-6.9595478	110.3926205	0
34	14.26944828	-6.9594835	110.3926118	7.214030632
34	14.3991127	-6.9594835	110.3926118	0
35	14.15295315	-6.959422	110.3926028	6.910262198
35	14.2646246	-6.959422	110.3926028	0
35	14.23236561	-6.9593563	110.3925933	7.380374286
35	14.12044621	-6.9593563	110.3925933	0
36	14.1131115	-6.9592934	110.3925843	7.064353665
36	14.26940441	-6.9592934	110.3925843	0
36	14.03585052	-6.9592323	110.3925758	6.858482276
36	14.13579845	-6.9592323	110.3925758	0
37	13.86636257	-6.959166	110.3925682	7.419795134
37	14.08832645	-6.959166	110.3925682	0
37	14.16466236	-6.9591025	110.3925604	7.113170714
37	14.02800655	-6.9591025	110.3925604	0
38	14.11153316	-6.9590419	110.3925522	6.798924593
38	14.10284138	-6.9590419	110.3925522	0
38	14.23384666	-6.9589761	110.3925445	7.365822243
38	13.97356415	-6.9589761	110.3925445	0
39	14.13002968	-6.9589123	110.3925376	7.134999136
39	14.07338619	-6.9589123	110.3925376	0

39	14.02690697	-6.958851	110.3925312	6.852755549
39	14.1639061	-6.958851	110.3925312	0
40	14.18627357	-6.9587843	110.3925245	7.453479018
40	14.23160458	-6.9587843	110.3925245	0
40	14.1476984	-6.9587207	110.3925177	7.111714281
40	14.2746582	-6.9587207	110.3925177	0
41	14.4428196	-6.9586595	110.3925108	6.847613598
41	14.21198082	-6.9586595	110.3925108	0
41	14.19027805	-6.9585932	110.3925028	7.424916323
41	14.24882412	-6.9585932	110.3925028	0
42	13.94869232	-6.95853	110.3924956	7.072311252
42	14.11408424	-6.95853	110.3924956	0
42	14.19120979	-6.95847	110.3924885	6.717563465
42	14.13282394	-6.95847	110.3924885	0
43	14.08225918	-6.9584044	110.3924802	7.351690976
43	14.27568054	-6.9584044	110.3924802	0
43	14.03446293	-6.9583447	110.3924711	6.713894613
43	13.92333508	-6.9583447	110.3924711	0
44	14.10554409	-6.9582833	110.3924619	6.902471774
44	13.82675362	-6.9582833	110.3924619	0
44	13.8811388	-6.9582194	110.3924539	7.160012816
44	13.82950306	-6.9582194	110.3924539	0
45	13.83655167	-6.9581564	110.3924475	7.04080697
45	13.81894684	-6.9581564	110.3924475	0
45	13.90323257	-6.9580957	110.3924429	6.768601929
45	13.89727306	-6.9580957	110.3924429	0
46	13.8521719	-6.9580312	110.3924367	7.204646894
46	13.6535778	-6.9580312	110.3924367	0
46	13.99977779	-6.9579688	110.3924311	6.96604026
46	14.01840973	-6.9579688	110.3924311	0
47	14.04375362	-6.9579071	110.3924244	6.900468347
47	13.99763775	-6.9579071	110.3924244	0
47	14.28077126	-6.9578402	110.3924156	7.502084939
47	14.23236561	-6.9578402	110.3924156	0
48	14.34434509	-6.9577761	110.3924043	7.235899285
48	14.361166	-6.9577761	110.3924043	0
48	14.2063303	-6.957714	110.3923944	6.991130014
48	14.35588169	-6.957714	110.3923944	0
49	14.37528229	-6.9576467	110.3923829	7.590305595
49	14.27809525	-6.9576467	110.3923829	0
49	14.30637836	-6.9575823	110.3923723	7.255902451

49	14.35021877	-6.9575823	110.3923723	0
50	14.48276138	-6.9574554	110.3923544	14.24828314
50	14.33180809	-6.9574554	110.3923544	0
50	14.43846416	-6.9574554	110.3923544	0
50	14.59953117	-6.9574554	110.3923544	0
51	14.24397469	-6.9573901	110.3923448	7.337936576
51	14.50941181	-6.9573901	110.3923448	0
51	14.24277115	-6.9573283	110.3923368	6.92834606
51	14.13540936	-6.9573283	110.3923368	0
52	13.95384693	-6.9572627	110.392329	7.345018173
52	13.95021629	-6.9572627	110.392329	0
52	13.99949551	-6.9572007	110.3923231	6.924774438
52	13.99966431	-6.9572007	110.3923231	0
53	13.99268341	-6.9571403	110.3923187	6.733709857
53	14.01107216	-6.9571403	110.3923187	0
53	13.8715868	-6.9570744	110.392314	7.346085827
53	13.80566025	-6.9570744	110.392314	0
54	13.72127819	-6.9570117	110.3923084	6.999267896
54	13.81131077	-6.9570117	110.3923084	0
54	13.86338806	-6.9569527	110.3923025	6.592742701
54	13.75205326	-6.9569527	110.3923025	0
55	13.85318756	-6.9568883	110.392294	7.222151176
55	13.85105228	-6.9568883	110.392294	0
55	14.00578785	-6.9568259	110.3922863	6.990421142
55	13.887537	-6.9568259	110.3922863	0
56	14.17078972	-6.9567647	110.3922796	6.84519387
56	14.20339394	-6.9567647	110.3922796	0
56	14.18081379	-6.9566981	110.3922722	7.450488813
56	14.42022896	-6.9566981	110.3922722	0
57	14.22070313	-6.9566329	110.3922644	7.300848797
57	14.39991856	-6.9566329	110.3922644	0
57	14.26080322	-6.9565706	110.3922567	6.979384325
57	14.41123867	-6.9565706	110.3922567	0
58	14.26638126	-6.9565024	110.3922485	7.637313789
58	14.18725777	-6.9565024	110.3922485	0
58	14.12475395	-6.9564371	110.3922402	7.318594177
58	14.15957928	-6.9564371	110.3922402	0
59	14.11859226	-6.9563752	110.3922331	6.9274355
59	14.09158134	-6.9563752	110.3922331	0
59	14.16178322	-6.9563089	110.3922259	7.414933941
59	14.22628593	-6.9563089	110.3922259	0

60	14.25024128	-6.9562461	110.3922177	7.041452174
60	14.13921261	-6.9562461	110.3922177	0
60	14.26913738	-6.9561854	110.3922098	6.80562422
60	14.01386738	-6.9561854	110.3922098	0
61	14.15425777	-6.9561193	110.3922021	7.398959516
61	14.26131344	-6.9561193	110.3922021	0
61	14.2688961	-6.9560559	110.3921936	7.111913364
62	14.26483727	-6.9559952	110.3921852	6.812915146
62	14.29435444	-6.9559307	110.3921769	7.230346631
62	14.08695221	-6.9559307	110.3921769	0
62	13.99618721	-6.9559307	110.3921769	0
62	13.94302368	-6.9559307	110.3921769	0

Dari tabel 4.7 Data hasil pengujian kecepatan 50 km/jam di Marina Raya dimana data di atas diambil ketika hasil data *groundspeed* mencapai kecepatan stabil di pengujian kecepatan 50 km/jam hingga diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

- Perhitungan Waktu Stabil

$$\text{Durasi Waktu Stabil} = 62 - 24 = 39 \text{ s}$$

- Perhitungan Kecepatan IMU

Kecepatan IMU

$$= 13,96768856 + 13,92261028 + \dots + 13,99618721 + 13,94302368 / 156$$

$$= 14,12487464 \text{ m/s}$$

- Mengubah Satuan kecepatan IMU

$$\text{Kecepatan IMU} = 14,12487464 \times 3600 / 1000$$

$$= 50.84954871 \text{ km/jam}$$

- Menghitung Jarak tempuh menggunakan Haversine

Jarak tempuh antar data

$$= 2 \times 6371000 \times \arcsin \left\{ \sqrt{\begin{aligned} & \sin^2 \left(\frac{(-6.9607489x \frac{180}{\pi}) - (-6.9608076x \frac{180}{\pi})}{2} \right) \\ & + \cos \left(-6.9607489x \frac{180}{\pi} \right) \times \cos \left(-6.908076x \frac{180}{\pi} \right) \times \sin^2 \left(\frac{(110.3927745x \frac{180}{\pi}) - (110.3927832x \frac{180}{\pi})}{2} \right) \end{aligned}} \right\}$$

$$= 6,597400631 \text{ m}$$

Total jarak tempuh

$$= 0 + 0 + 6,597400631 + \dots + 7,230346631 + 0 + 0 + 0$$

$$= 546,5136746 \text{ m}$$

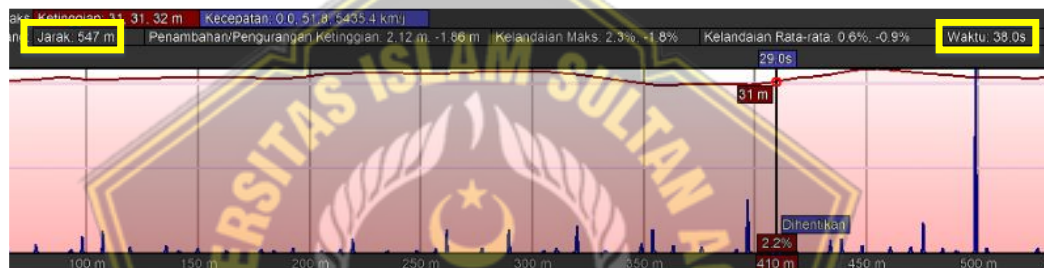
- Menghitung Kecepatan GNSS

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan GNSS} &= \text{Total jarak tempuh} / \text{Durasi waktu} \\ &= 546,5136746 / 39 \\ &= 14,01317114 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Mengubah Satuan Kecepatan GNSS

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan GNSS} &= 14,01317114 \times 3600 / 1000 \\ &= 50,44741612 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

- Menghitung Kecepatan Referensi



$$\begin{aligned} \text{Kecepatan Referensi} &= \text{Total jarak tempuh} / \text{Durasi waktu} \\ &= 547 / 38 \\ &= 14,3947368 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Mengubah Satuan Kecepatan Referensi

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan GNSS} &= 14,3947368 \times 3600 / 1000 \\ &= 51,8210525 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan hasil yang ditampilkan pada tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan

Durasi Waktu Stabil (s)	39
Kecepatan IMU (m/s)	14,12487464
Kecepatan IMU (km\jam)	50.84954871
Jarak Haversine (m)	546,5136746
Kecepatan GNSS (m/s)	14,01317114
Kecepatan GNSS (km/jam)	50,44741612
Kecepatan Referensi (m/s)	14,3947368
Kecepatan Referensi (km/jam)	51,8210525

Dari hasil pengujian di kecepatan 10,20,30,40, dan 50 km/jam didapatkan hasil perhitungan kecepatan IMU dan GNSS pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

Kecepatan (km/jam)	Referensi (km/jam)			IMU Here 2 (km/jam)			GNSS Here 2 (km/jam)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	11.5967	11.5143	11.3953	10.8097	10.7861	10.9725	11.6234	11.4978	11.4058
20	20.64	20.7849	20.6791	20.3651	20.1942	20.3097	20.7752	20.9498	20.4049
30	31.8176	31.2188	30.75	30.7983	30.0718	30.135	31.7983	31.1807	30.7037
40	41.1652	40.9224	40.5692	40.0232	39.8553	40.517	41.1314	40.4928	40.9488
50	51.5368	51.8211	51.6	50.8193	50.8495	51.1763	51.5255	50.4474	52.356

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.9 dilakukan perhitungan akurasi kecepatan IMU dan GNSS sebagai berikut:

- Menghitung error kecepatan IMU

$$\begin{aligned} \text{error} &= \left| \frac{\text{kecepatan referensi} - \text{kecepatan IMU}}{\text{kecepatan referensi}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{51,8211 - 50,8495}{51,8211} \right| \times 100\% \\ &= 1,87\% \end{aligned}$$

- Menghitung akurasi kecepatan IMU

$$\begin{aligned} \text{akurasi} &= 100\% - \text{error} \\ &= 100\% - 1,87\% \\ &= 98,13\% \end{aligned}$$

- Menghitung rata rata akurasi kecepatan IMU

$$\begin{aligned} \text{rata rata akurasi} &= \frac{\text{akurasi1} + \text{akurasi2} + \text{akurasi3}}{3} \\ &= \frac{98,61\% + 98,13\% + 99,18\%}{3} \\ &= 98,64\% \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian di kecepatan 10,20,30,40, dan 50 km/jam didapatkan hasil perhitungan akurasi dan rata rata akurasi kecepatan IMU dan GNSS pada tabel 4.10, tabel 4.11, dan tabel 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 2 (%)			Akurasi GNSS Here 2 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
	10	93.21%	93.68%	96.29%	99.77%	99.86%	99.91%	94.39%
20	98.67%	97.16%	98.21%	99.35%	99.21%	98.67%	98.01%	99.08%
30	96.80%	96.33%	98.00%	99.94%	99.88%	99.85%	97.04%	99.89%
40	97.23%	97.39%	99.87%	99.92%	98.95%	99.06%	98.16%	99.31%
50	98.61%	98.13%	99.18%	99.98%	97.35%	98.53%	98.64%	98.62%

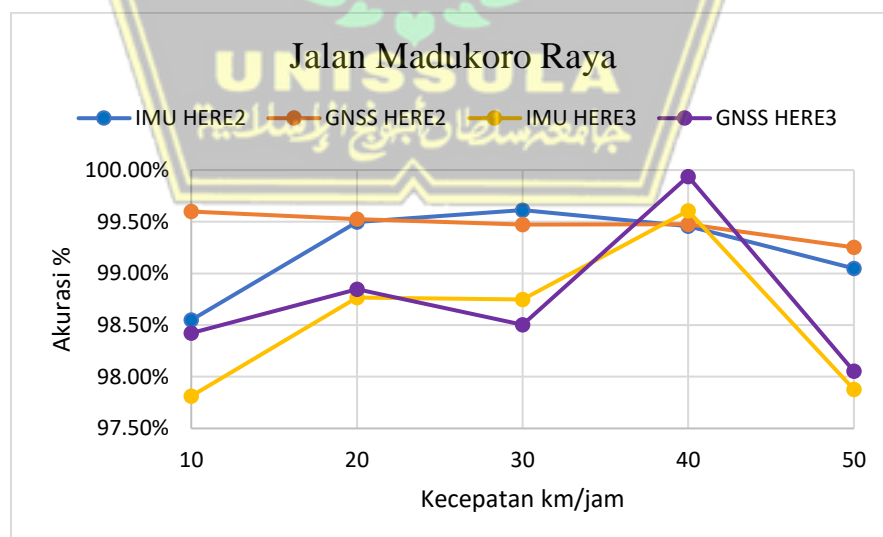
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Referensi (km/jam)			IMU Here 3 (km/jam)			GNSS Here 3 (km/jam)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	11.6765	11.7704	11.8413	10.8097	10.7861	10.9725	11.6234	11.4978	11.4058
20	21.1655	21.18	21.3283	20.3651	20.1942	20.3097	20.7752	20.9498	20.4049
30	31.8462	31.4182	31.3636	30.7983	30.0718	30.135	31.7983	31.1807	30.7037
40	40.5	40.896	39.6	40.0232	39.8553	40.517	41.1314	40.4928	40.9488
50	51.2526	51.6316	51.8049	50.8193	50.8495	51.1763	51.5255	50.4474	52.356

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 3 (%)			Akurasi GNSS Here 3 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
	10	92.58%	91.64%	92.66%	99.55%	97.68%	96.32%	92.29%
20	96.22%	95.35%	95.22%	98.16%	98.91%	95.67%	95.60%	97.58%
30	96.71%	95.71%	96.08%	99.85%	99.24%	97.90%	96.17%	99.00%
40	98.82%	97.46%	97.68%	98.44%	99.01%	96.59%	97.99%	98.02%
50	99.15%	98.49%	98.79%	99.47%	97.71%	98.94%	98.81%	98.70%

4.4 Grafik Pengujian Jalan Madukoro Raya

**Gambar 4. 3** Grafik pengujian di Madukoro Raya

Pada Gambar 4.3 menjelaskan tentang hasil pengujian di Madukoro Raya. Grafik dengan warna biru menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 2,

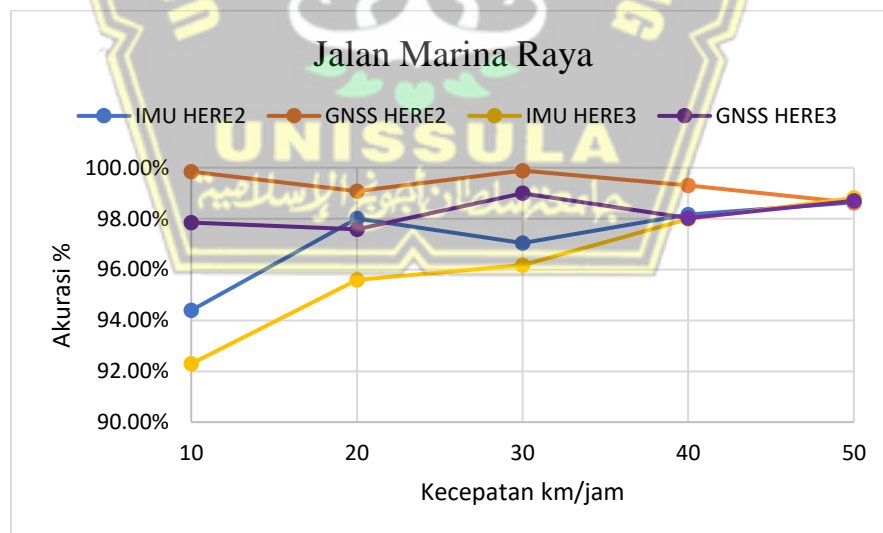
warna orange menunjukkan hasil dari rata rata akurasi GNSS HERE 2, warna kuning menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 3, dan warna ungu menunjukkan hasil rata rata akurasi GNSS HERE 3.

Pada variasi pengujian kecepatan 10 sampai 50 km/jam, terlihat nilai akurasi IMU HERE 2 lebih rendah dibandingkan dengan nilai akurasi GNSS HERE 2, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 30 km/jam nilai akurasi IMU HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

Pada variasi pengujian kecepatan 10 sampai 50 km/jam, terlihat nilai akurasi IMU HERE 3 lebih rendah dibandingkan dengan nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 30 km/jam nilai akurasi IMU HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3.

Dari gambar 4.3 juga menunjukkan nilai akurasi dari GNSS HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 50 km/jam nilai akurasi GNSS HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

4.5 Grafik Pengujian Jalan Marina Raya



Gambar 4. 4 Grafik pengujian di Marina Raya

Pada Gambar 4.4 menjelaskan tentang hasil pengujian di Marina Raya. Grafik dengan warna biru menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 2, warna orange menunjukkan hasil dari rata rata akurasi GNSS HERE 2, warna

kuning menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 3, dan warna ungu menunjukkan hasil rata rata akurasi GNSS HERE 3.

Pada variasi pengujian kecepatan 10 sampai 50 km/jam, terlihat nilai akurasi IMU HERE 2 lebih rendah dibandingkan dengan nilai akurasi GNSS HERE 2, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 50 km/jam nilai akurasi IMU HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

Pada variasi pengujian kecepatan 10 sampai 50 km/jam, terlihat nilai akurasi IMU HERE 3 lebih rendah dibandingkan dengan nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 50 km/jam nilai akurasi IMU HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3.

Dari gambar 4.4 juga menunjukkan nilai akurasi dari GNSS HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 40 km/jam nilai akurasi GNSS HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

4.6 Hasil Perbandingan Antar Lokasi

Dari hasil pengujian pada jalan Madukoro Raya dan jalan Marina Raya, akurasi kecepatan GNSS pada jalan Madukoro Raya lebih tinggi daripada akurasi kecepatan GNSS pada jalan Marina Raya karena pada jalan Madukoro Raya hanya terdapat sedikit penghalang berupa pohon-pohon yang rindang, sedangkan pada jalan Marina Raya terdapat banyak penghalang berupa pohon-pohon yang lebat sehingga dapat menghambat penerimaan sinyal GNSS. Hasil ini sesuai dengan rujukan artikel pada sub bab GPS mengenai akurasi GPS pada lokasi tertentu.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian akurasi kecepatan GNSS lebih tinggi daripada akurasi kecepatan IMU, dimana hasil rata rata akurasi kecepatan GNSS yaitu 98,95% sedangkan hasil rata rata akurasi kecepatan IMU yaitu 97,80%.
2. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan sedikit penghalang yaitu jalan Madukoro Raya pada kecepatan 10 km/jam akurasi kecepatan GNSS Here2 sebesar 99,60% dan akurasi kecepatan GNSS Here3 sebesar 98,42%, sedangkan pada kecepatan 50 km/jam akurasi kecepatan GNSS Here2 sebesar 99,25% dan akurasi kecepatan GNSS Here3 sebesar 98,05%.
3. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan banyak penghalang yaitu jalan Marina Raya pada kecepatan 10 km/jam akurasi kecepatan GNSS Here2 sebesar 99,84% dan akurasi kecepatan GNSS Here3 sebesar 97,85%, sedangkan pada kecepatan 50 km/jam akurasi kecepatan GNSS Here2 sebesar 98,62% dan akurasi kecepatan GNSS Here3 sebesar 98,70%.
4. Perangkat yang paling bagus untuk pengukuran kecepatan yaitu GNSS Here2 dikarenakan hasil rata rata akurasi GNSS Here 2 mencapai 99,41% sedangkan hasil rata rata akurasi GNSS Here3 sebesar 98,49% .

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pada pengujian pengukuran kecepatan dapat dilakukan menggunakan dua perangkat GNSS secara bersamaan.
2. Waktu pengujian dilakukan pada hari yang sama, agar pembacaan satelit pada perangkat GNSS dan kondisi lapangan pada saat pengujian tidak jauh berbeda.

3. Lokasi pengujian kecepatan di tempat yang bebas dari lalu lintas kendaraan agar kestabilan pengujian kecepatan tetap terjaga.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. S. Pramono, “Pembacaan Posisi Koordinat dengan GPS sebagai Pengendali Palang Pintu Rel Kereta Api secara Otomatis untuk Penambahan Aplikasi Modul Praktik Mikrokontroler,” *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru. UNY*, vol. 20, no. 2, p. 163808, 2011.
- [2] M. Khosyi’in, E. N. Budisusila, S. A. D. Prasetyowati, B. Y. Suprpto, and Z. Nawawi, “Tests Measurement of UHF RFID for autonomous vehicle navigation,” *Proc. - 2020 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. IT Challenges Sustain. Scalability, Secur. Age Digit. Disruption, iSemantic 2020*, pp. 255–261, 2020, doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234257.
- [3] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.111 Tahun 2015 Tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan,” vol. Nomor 65, no. 879, pp. 2004–2006, 2015.
- [4] K. A. Al-Gaadi, “Testing the Accuracy of Autonomous GPS in Ground Speed Measurement,” *Journal of Applied Sciences*, vol. 5, no. 9, pp. 1518–1522, 2005, doi: 10.3923/jas.2005.1518.1522.
- [5] M. Akkamis, M. Keskin, and Y. E. Sekerli, “Comparative Appraisal of Three Low-Cost GPS Speed Sensors with Different Data Update Frequencies,” *AgriEngineering*, vol. 3, no. 2, pp. 423–437, 2021, doi: 10.3390/agriengineering3020028.
- [6] A. Dyukov, “Accuracy of Speed Measurements using GNSS in Challenging Environments,” *Asian J. Appl. Sci.*, vol. 3, no. 6, pp. 794–811, 2015.
- [7] M. Keskin, Y. E. Sekerli, and S. Kahraman, “Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions,” *Precis. Agric.*, vol. 18, no. 2, pp. 264–277, 2017, doi: 10.1007/s11119-016-9453-x.
- [8] TrakkitGps, “GPS,” 2023. <https://trakkitgps.com/how-gps-works/#> (accessed Feb. 20, 2023).
- [9] Footpath, “Understanding GPS accuracy,” 2023. <https://footpathapp.com/user-guide/gps-accuracy/> (accessed Mar. 08, 2023).
- [10] CubePilot, “Here3 Manual,” 2022. <https://docs.cubepilot.org/user-guides/here-3/here-3-manual> (accessed Mar. 08, 2023).
- [11] PX4 Autopilot, “Hex Cube Black Flight Controller,” 2022. https://docs.px4.io/main/zh/flight_controller/pixhawk-2.html.
- [12] ArduPilot, “Mission Planner Overview,” 2021. <https://ardupilot.org/planner/>.
- [13] PX4 Autopilot, “Here 2,” 2022. https://docs.px4.io/main/en/gps_compass/gps_hex_here2.html.

- [14] A. Ardiansyah, *Perancangan Inertial Navigation System Menggunakan Inertial Measurement Unit 10 Dof Pada Diver Propulsion Vehicle*. 2018.
- [15] V. Camomilla, E. Bergamini, S. Fantozzi, and G. Vannozzi, "Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 3, 2018, doi: 10.3390/s18030873.
- [16] InvenSense, "MPU-9250 Product Specification Revision 1.1," *Vet. Med. Nauki*, vol. 24, no. 3, pp. 78–81, 2016.
- [17] C. Wibisono Darmawan, S. R. U A Sompie, and F. D. Kambey, "Implementasi Internet of Things pada Monitoring Kecepatan Kendaraan Bermotor," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 91–100, 2020.
- [18] E. budi Wahyono and M. A. Subroto, *Kata Pengantar*, vol. 2, no. 2. 2019.
- [19] R. H. D. Putra, H. Sujiani, and N. Safriadi, "Penerapan Metode Haversine Formula Pada Sistem Informasi Geografis Pengukuran Luas Tanah," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 2, pp. 1262–1270, 2015.
- [20] M. Khosyi'in, S. A. D. Prasetyowati, B. Y. Suprpto, and Z. Nawawi, "The Impact of Telemetry Received Signal Strength of IMU / GNSS Data Transmission on Autonomous Vehicle Navigation," vol. 10, no. 4, pp. 970–982, 2022, doi: 10.52549/ijeei.v10i4.3901.

