

PENGUJIAN IMU DAN GNSS PADA NAVIGASI ROVER BERBASIS PIXHAWK 2.1

LAPORAN TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

RIFQI AULANA

NIM: 30601601883

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

2022

IMU AND GNSS TESTING ON PIXHAWK-BASED ROVER NAVIGATION 2.1

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:

RIFQI AULANA

NIM 30601601883

**DEPARTMEN OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “PENGUJIAN IMU DAN GNSS PADA NAVIGASI ROVER BERBASIS PIXHAWK 2.1” ini disusun oleh:

Nama : Rifqi Aulana

NIM : 30601601883

Program Studi : Teknik Elektro

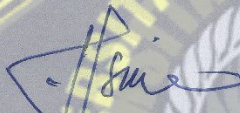
Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 29 Desember 2022

Pembimbing I

Pembimbing II


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


Dr. Bustanul Arifin, ST., MT.
NIDN. 0614117701

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putrihapsari, ST., MT.
NIDN. 0607018501

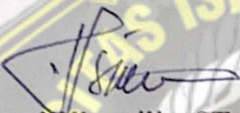
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENGUJIAN IMU DAN GNSS PADA NAVIGASI ROVER BERBASIS PIXHAWK 2.1”** ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

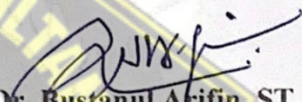
Hari : Kamis

Tanggal : 29 Desember 2022

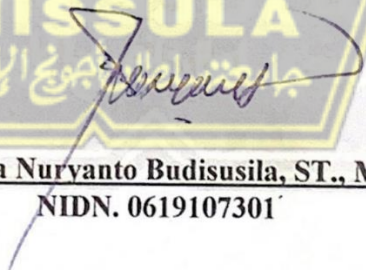
Penguji I


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

Penguji II


Dr. Bustanul Arifin, ST., MT.
NIDN. 0614117701

Ketua Penguji


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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rifqi Aulana
NIM : 30601601883
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul **"PENGUJIAN IMU DAN GNSS PADA NAVIGASI ROVER BERBASIS PIXHAWK 2.1"**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 23 Desember 2022

Yang menyatakan



Rifqi Aulana

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rifqi Aulana

NIM : 30601601883

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi industri

Alamat Asal : Desa Sarirejo RT 03 RW 06 Kec. Kaliwungu Kab. Kendal

Email : rifqiaulana@std.unissula.ac.id

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas akhir dengan Judul : **(PENGUJIAN IMU DAN GNSS PADA NAVIGASI ROVER BERBASIS PIXHAWK 2.1)** Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan agung.

Semarang, 23 Desember 2022

Yang Menyatakan



Rifqi Aulana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur yang mendalam kepada Allah SWT, 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. Orang tua penulis, Bapak Slamet Riyadi dan Ibu Romdhonah yang selalu memberikan doa yang terbaik akan diri saya, mencintai tanpa pamrih, menyemangati tanpa lelah, yang selalu ada setiap suka duka yang penulis hadapi, sehingga bisa menyelesaikan pendidikan sampai tingkat sarjana.
2. Kakak-kakak penulis, Ika Uyunul Fauzizah, Saiful Hadi, Muntaha, dan Asih Jiwandani yang memberikan doa dan semangat kepada penulis.
3. Terima kasih kepada Bapak Muhammad Khosyi'in, ST., MT. dan teman tim riset Anjar, Yusril, Akka atas bantuan dan semangatnya.
4. Teman-teman Teknik Elektro yang selalu memberikan support dan tidak ada bosan-bosannya menawarkan bantuan.
5. Teman-teman elektro arus lemah mantap.
6. Sahabat saya Aziz, Norma, Rico telah menjadi orang yang sangat berarti bagi penulis, memberikan banyak kenangan tak terlupakan dan mengajarkan banyak hal bagi penulis.
7. Dan tak kalah spesial, saya tunjukkan kepada orang tercinta Debora Sekar Arum yang selalu siap sedia menemani saya dalam suka mauoun duka, memberikan semangat kepada saya tanpa henti, sehingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

HALAMAN MOTTO

Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dicapai. Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk diselesaikan. Karena “Siapa yang bertawakal kepada Allah, niscaya akan mencukupkan (keperluan)-nya. Sesungguhnya Allah yang menuntaskan urusan-Nya. Sungguh, Allah telah membuat ketentuan bagi setiap sesuatu” QS At-Talaq: 3).

“Jangan hanyut ketika mendapat banyak rezeki. Ingat, sebagian rezeki yang didapat adalah milik disekitarmu juga”.



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, S.T, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Muhammad Khosyi'in, ST., MT selaku Dosen Wali serta Pembimbing I dan Bapak Dr. Bustanul Arifin, 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

HALAMAN SAMPUL	i
<i>FINAL PROJECT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
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
<i>ABSTRACK</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Cube Black.....	7
2.2.2. Here3 GPS.....	9
2.2.3. Modul u-blox NEO-M8P	10
2.2.4. Remote Control Transmitter-Receiver	10
2.2.5. Motor Servo (metal gear servo mobilio store)	11
2.2.6. ESC (<i>Electronic Speed Control</i>)	11

2.2.7.	Baterai LiPo (Lithium Polymer)	12
2.2.8.	Telemetry	13
2.2.9.	Mission Planner.....	14
2.2.10.	Real Time Kinematic	14
2.2.11.	Sistem navigasi	15
2.2.12.	IMU (<i>Inertial Measurement Unit</i>)	16
2.2.13.	GNSS (<i>Global Navigation Satellite System</i>)	20
2.2.14.	Koordinat NED (North East Down).....	22
BAB III METODE PENELITIAN.....		23
3.1.	Deskripsi Umum.....	23
3.2.	Blok Diagram	25
3.3.	Lokasi dan Rute Pengujian.....	29
3.4.	Perancangan Hardware.....	34
3.4.1.	Perancangan Pada Kendaraan	34
3.4.2.	Perancangan Pada <i>Ground Control Station</i>	36
3.5.	Pengujian Navigasi.....	37
3.6.	Pengujian Sensor	47
BAB IV DATA DAN ANALISA		49
4.1.	Integrasi IMU cube dan GNSS.....	49
4.2.	Pengujian Heading Orientasi.....	49
4.3.	Pengujian IMU cube.....	55
4.3.1.	IMU cube pada rute kotak.....	55
4.3.2.	IMU cube pada rute zigzag	57
4.3.3.	IMU cube pada rute angka 8	60
BAB V PENUTUP.....		63
5.1.	Kesimpulan.....	63
5.2.	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cube Black (Pixhawk 2.1)(PX4 Autopilot, 2022).....	8
Gambar 2. 2 Here3 GPS	9
Gambar 2. 3 Modul U-blox NEO-MP	10
Gambar 2. 4 Remote Control Transmitter FS-i6 dan Receiver FS-ia6b	11
Gambar 2. 5 ESC QuickRun WP 1060 Brushed	12
Gambar 2. 6 Baterai Lipo 2200 mAh 2S	12
Gambar 2. 7 Transmitter dan Receiver Telemetry RFD 915 Mhz	13
Gambar 2. 8 Tampilan Mission Planner	14
Gambar 2. 9 Pengamatan Real Time Kinematic (RTK) yang terdiri atas base station dan rover	15
Gambar 2. 10 Konfigurasi umum INS	17
Gambar 2. 11 Akselerometer	18
Gambar 2. 12 Girooskop	19
Gambar 2. 13 Magnetometer	19
Gambar 2. 14 Arah mata angin pada kompas	20
Gambar 2. 15 Koordinat NED (North East Down)	22
Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian	23
Gambar 3. 2 Blok diagram	25
Gambar 3. 3 Letak cone (a) rute kotak, (b) rute zigzag, dan (c) rute angka 8.....	30
Gambar 3. 4 Rute navigasi kotak	31
Gambar 3. 5 Rute navigasi zigzag	32
Gambar 3. 6 Rute navigasi angka 8	33
Gambar 3. 7 Implementasi modul pada rover	34
Gambar 3. 8 Chasis rover tampak depan dan tapak atas	35
Gambar 3. 9 Ground Control Station (GCS)	37
Gambar 3. 10 Letak instalasi Ground Control Station	37
Gambar 3. 11 Flowchart Pengujian	38
Gambar 3. 12 Mengatur Port komunikasi dan Baudrate pada GCS	39
Gambar 3. 13 Flowchart kalibrasi GPS dengan metode RTK	40

Gambar 3. 14 Kalibrasi radio control	41
Gambar 3. 15 Menu kalibrasi akselerometer pada software Mission Planner	43
Gambar 3. 16 Flowchart kalibrasi sensor akselerometer.....	44
Gambar 3. 17 Flowchat kalbrasi sensor Kompas	45
Gambar 3. 18 Menu RTK/GPS Inject pada Mission Planner.....	46
Gambar 3. 19 Sensor IMU cube pada Pixhawk 2.1	47
Gambar 3. 20 Koordinat kerangka bodi mobil	48
Gambar 3. 21 GNSS integrasi dengan kompas dan receiver.....	48
Gambar 4. 1 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute kotak.....	49
Gambar 4. 2 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute zigzag	50
Gambar 4. 3 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute angka 8	50
Gambar 4. 4 Arah Kompas berdasarkan Koordinat Navigasi NED	51
Gambar 4. 5 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute kotak.....	52
Gambar 4. 6 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute zigzag	53
Gambar 4. 7 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute angka 8.....	54
Gambar 4. 8 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute kotak.....	56
Gambar 4. 9 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute zigzag	58
Gambar 4. 10 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute angka 8	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.....	6
Tabel 2. 2 Tabel spesifikasi pixhawk 2.1	8
Tabel 2. 3 Spesifikasi Here3 GPS	9
Tabel 3. 1 Modul sistem navigasi (Khosyi'in et al., 2021)	25
Tabel 3. 2 Nilai titik koordinat referensi pada rute kotak.....	31
Tabel 3. 3 Nilai titik koordinat referensi pada rute zigzag.....	32
Tabel 3. 4 Nilai titik koordinat referensi pada rute angka 8.....	33
Tabel 3. 5 Kalibrasi radio kontrol	42
Tabel 3. 6 Kalibrasi akselerometer.....	43



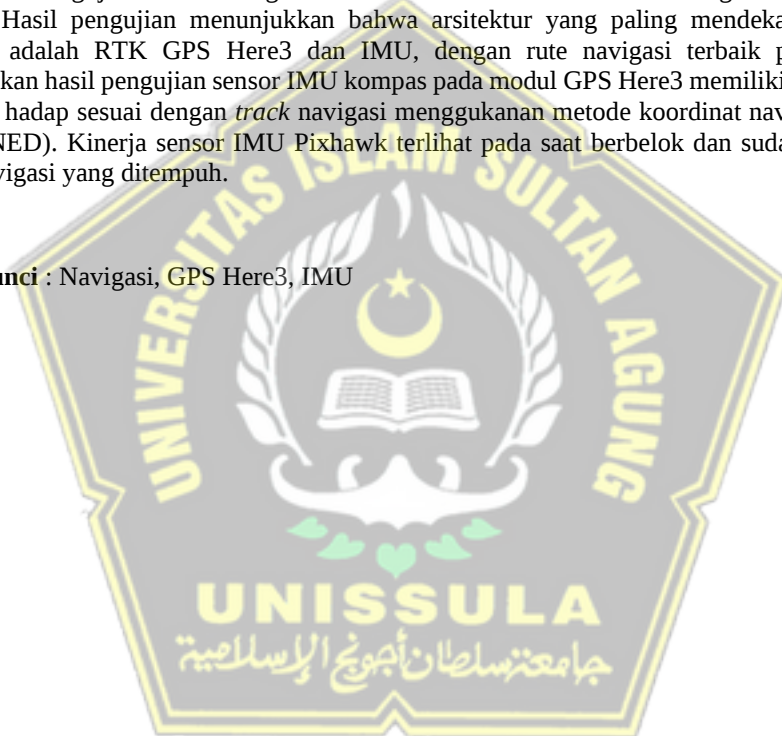
ABSTRAK

Navigasi tidak pernah terpisahkan dari penggunaan GPS (*Global Positioning System*), akan tetapi GPS mempunyai kelemahan dari sisi akuransinya. Sehingga dibutuhkan integrasi antara GPS dengan modul sensor yang lain. Modul RTK (*Real Time Kinematic*) sering digunakan untuk meningkatkan nilai akurasi GPS. Dalam pemetaan geodetik, modul RTK sering digunakan untuk mendapatkan data titik koordinat yang akurat.

Pada penelitian ini arsitektur sistem navigasi dibangun dengan 2 arsitektur, yaitu integrasi GPS dengan IMU dan integrasi GPS RTK dengan IMU. Pengujian dilakukan dengan menjalankan rover pada 3 jenis rute yaitu kotak, zigzag, dan angka 8. Pengujian kedua arsitektur dilakukan secara bergantian. Pengujian sistem navigasi rover dikendalikan secara manual dengan radio kontrol.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa arsitektur yang paling mendekati referensi rute navigasi adalah RTK GPS Here3 dan IMU, dengan rute navigasi terbaik pada rute kotak. Berdasarkan hasil pengujian sensor IMU kompas pada modul GPS Here3 memiliki pembacaan arah orientasi hadap sesuai dengan *track* navigasi menggunakan metode koordinat navigasi *North East Down* (NED). Kinerja sensor IMU Pixhawk terlihat pada saat berbelok dan sudah sesuai dengan *track* navigasi yang ditempuh.

Kata Kunci : Navigasi, GPS Here3, IMU



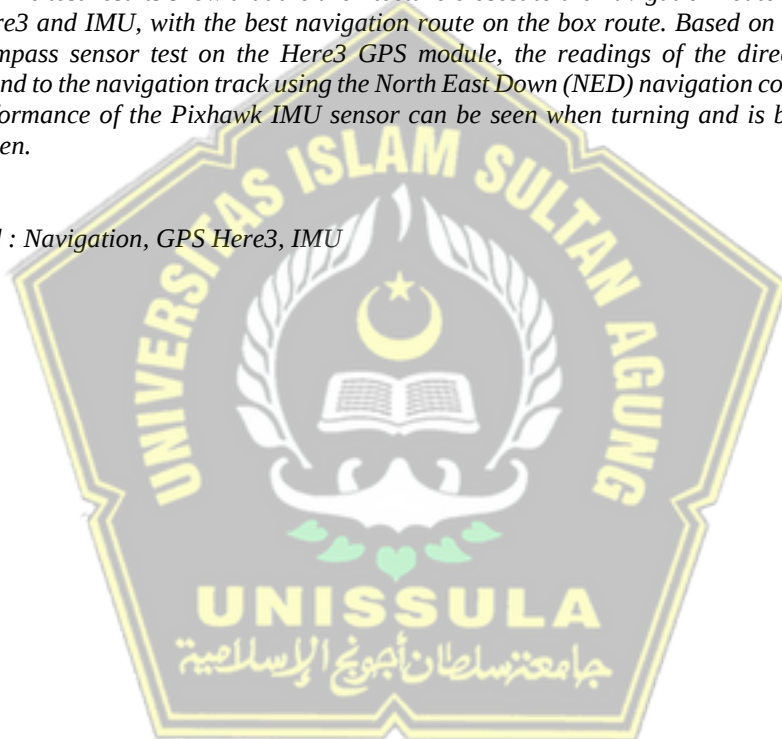
ABSTRACT

Navigation is never separated from the use of GPS (Global Positioning System), but GPS has weaknesses in terms of accuracy. So that integration between GPS and other sensor modules is needed. The RTK (Real Time Kinematic) module is often used to increase GPS accuracy values. In geodetic mapping, RTK modules are often used to obtain accurate coordinate point data.

In this study, the navigation system architecture was built using 2 methods: GPS Here3 with IMU and RTK GPS Here3 with IMU. Tests were carried out by running the rover on 3 routes: square, zigzag, and number 8. Testing of the two architectures was carried out alternately. Testing the rover navigation system is controlled manually with radio control.

The test results show that the architecture closest to the navigation route reference is RTK GPS Here3 and IMU, with the best navigation route on the box route. Based on the results of the IMU compass sensor test on the Here3 GPS module, the readings of the direction orientation correspond to the navigation track using the North East Down (NED) navigation coordinate method. The performance of the Pixhawk IMU sensor can be seen when turning and is by the navigation track taken.

Keyword : Navigation, GPS Here3, IMU



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Navigasi tidak pernah terpisahkan dari penggunaan GPS, akan tetapi GPS mempunyai kelemahan dari sisi akuransinya. Sehingga dibutuhkan integrasi antara GPS dengan modul sensor yang lain (Firdaus and Ismail, 2020). Modul RTK (*Real Time Kinematic*) sering digunakan untuk meningkatkan nilai akurasi GPS. Dalam pemetaan geodetik, modul RTK sering digunakan untuk mendapatkan data titik koordinat yang akurat.

Sistem navigasi telah menjadi bagian penting dari kehidupan manusia modern. Hampir semua orang di kota besar menggunakan sistem navigasi untuk menentukan lokasi tujuan yang diinginkan. Sebagian besar navigasi menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Pada kendaraan kondisi tanpa sistem navigasi hanya tahu kendaraan tersebut berjalan lurus dan belok, akan tetapi tidak tahu berada dimana lokasi titik koordinatnya. Dalam hal ini, GPS digunakan untuk mendapatkan posisi atau lokasi objek secara cepat dan akurat. Untuk menggunakan GPS, dibutuhkan komponen berupa GPS *tracker* atau GPS pelacak untuk menerima sinyal dari satelit yang memungkinkan pengguna dapat melacak posisi dimanapun berada yang pengguna inginkan untuk memonitoring, seperti kendaraan, manusia, armada ataupun mobil dalam keadaan *Real-Time*. Banyak akurasi GPS yang menurut buku panduannya dari akurasi 2 meter, bahkan bisa sampai mencapai akurasi 2,5 centimeter jika menggunakan metode RTK yang merupakan titik referensi statis untuk menjadi acuan rover/mobile robot yang bergerak dengan tujuan agar akurasi navigasi lebih bagus. Saat *tracking* navigasi pada rover dapat diketahui perilaku berjalan maju, mundur, maupun berbelok ke kanan, dan ke kiri, perilaku tersebut bisa didapatkan dari *Controller* Pixhawk Cube Black yang dikirimkan melalui telemetri dalam bentuk *log*.

Tugas Akhir ini merujuk salah satu jurnal yang membahas tentang desain navigasi kendaraan otomatis, pada tulisan tersebut memberikan gambaran tentang desain sistem navigasi kendaraan otonom menggunakan kontroler Pixhawk 2.1 yang memiliki sensor IMU (akselerometer, giroskop, dan magnetometer) dengan sistem redundan dan GNSS (*Global Navigation Satellite System*) yang digunakan yaitu modul GPS Here2 untuk mendapatkan titik-titik koordinat kendaraan (Khosyi'in *et al.*, 2021). Kemudian juga merujuk salah satu jurnal tentang estimasi sudut orientasi rigid body dengan sensor IMU dan magnetometer, tulisan tersebut dilakukan pengujian sensor IMU jenis K6DS3TR pada smartphone dengan menggunakan konversi sumbu koordinat ENU (*East North Up*) (Sandi, Kurniawan and Lasmadi, 2020).

Pada Tugas Akhir ini melakukan navigasi kendaraan dengan menguji sensor IMU yang tertanam pada kontroler Pixhawk 2.1 dan GNSS yang digunakan adalah modul GPS Here3 dengan receiver Ublox Neo-M8P. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk memenuhi Syarat Tugas Akhir yang berjudul Pengujian IMU Dan GNSS Pada Navigasi Rover Berbasis Pixhawk 2.1.

1.2. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana kinerja receiver Ublox Neo-M8P pada GPS Here3 dalam *tracking* navigasi rover terhadap referensi dari Google Earth?
2. Modul manakah yang paling ideal untuk menentukan *tracking* navigasi rover?
3. Bagaimana metode *North East Down* (NED) digunakan dalam pembacaan arah hadap kendaraan?
4. Bagaimana penerapan Sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) cube Pixhawk 2.1 pada saat *tracking* navigasi berjalan?

1.3. Pembatasan 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. Jenis kendaraan yang digunakan MN-D90 skala 1:12, motor penggerak brushed jenis dynamo RC 370 dengan kecepatan 31.000 rpm dengan tegangan 7,4 V, dan motor servo jenis Digital Servo Core Metal 3.5 Kg Torsi + Servo Arm 25T.
2. GNSS yang digunakan adalah modul GPS Here3 dengan receiver Ublox Neo-M8P dan sensor IMU yang sudah tertanam pada Pixhawk 2.1.

1.4. Tujuan

Berdasarkan latar belakang masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui sistem navigasi dengan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang tertanam pada Pixhawk 2.1 dan hasil *tracking* koordinat latitude dan longitude menggunakan GPS Here3 dibandingkan dengan titik referensi yang telah ditentukan menggunakan *Google Earth*.

1.5. Manfaat

1. Untuk mengetahui sistem navigasi pada rover menggunakan *controller* Pixhawk 2.1
2. Untuk mengetahui kinerja sensor IMU pada Pixhawk 2.1 pada navigasi rover dengan GPS Here 3
3. Untuk mengetahui prinsip kerja koordinat NED (*North East Down*) dan kinerja *receiver* Ublox Neo-M8P pada modul GPS Here3 saat melakukan navigasi

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN 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 : PERANCANGAN SISTEM

Bab ini berisi tentang gambaran umum tempat penelitian, data penelitian, prosedur/tahapan penelitian serta metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis sistem navigasi manual dengan Here 3 menggunakan *controller Pixhawk Cube Black*.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini berisi tentang hasil pengujian dari navigasi rover dengan GPS Here 2 dan Here 3 menggunakan *controller Pixhawk Cube Black*.

BAB V : KESIMPULAN

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

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang berjudul “Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1” dilakukan oleh Muhammad Khosyi’in, pada penelitian ini memberikan gambaran tentang desain sistem navigasi kendaraan otonom menggunakan kontroler Pixhawk 2.1 yang memiliki sensor IMU (akselerometer, giroskop, dan magnetometer) dengan sistem redundan dan GNSS yang digunakan yaitu modul GPS Here2 untuk mendapatkan titik-titik koordinat kendaraan (Khosyi’in *et al.*, 2021).

Menurut Sapta Nugraha, Tri Ananda Putra, dan Tomu Suhendra dengan judul “Sistem Kendali Navigasi Robot Manual”, penelitian ini membahas tentang navigasi manual menggunakan Arduino Mega 2560 dan GPS NEO 6M dengan tipe wahana robot *holomic*. Perangkat komunikasi dengan joystick nirkabel dapat mengirimkan data dari perangkat pengirim ke perangkat penerima menggunakan *NRF24L01 Module* untuk mengendalikan robot (Nugraha, 2019).

Menurut hasil penelitian Seno Nugroho dengan judul “Sistem Navigasi Gerak Roboboat Berdasarkan GPS Menggunakan Metode Waypoint”. Penelitian ini membahas tentang navigasi *Roboboat* yang dikendalikan secara *autonomous*, berdasarkan hasil pengujian sistem navigasi yang dibuat menuntun roboboat mengikuti lintasan yang diberikan pada misi pertama terdapat 2 titik waypoint mendapatkan selisih error mencapai 1,35 meter dan pada misi kedua terdapat 9 titik waypoint mendapatkan error 15,54 meter. Nilai PWM yang diberikan kepada motor servo bergerak ke kanan kiri dan lurus sudah sesuai sehingga roboboat dapat melaju dengan baik (Nugroho, Suratman and Nugraha, 2016).

Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

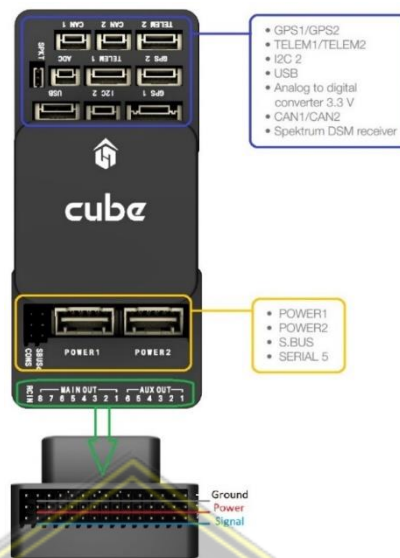
No	Peneliti Dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1.	Muhammad Khosyi'in dengan judul "Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1"	- Menggunakan kontroler Pixhawk 2.1 - Wahana yang digunakan adalah rover	- Menggunakan modul GNSS Here2 - Membuat desain sistem navigasi kendaraan otonom menggunakan Pixhawk 2.1 dengan IMU dan GNSS	- Menggunakan GNSS Here3 dengan RTK - Menguji sensor IMU Pixhawk 2.1 dan GNSS dengan sistem navigasi manual
2.	Sapta Nugraha, Tri Ananda Putra, dan Tomu Suhendra dengan judul "Sistem Kendali Navigasi Robot Manual"	- Menggunakan sistem navigasi manual	- Menggunakan Arduino Mega 2600 - Menggunakan GPS Neo 6M - Kontrol menggunakan Joystik - Komunikasi menggunakan NRF24L01 Module	- Menggunakan Pixhawk Cube Black - Menggunakan GPS U-blox Neo M8N dan GPS U-blox Neo M8P - Kontrol menggunakan Remote control Flysky FS-I6 - Komunikasi menggunakan Telemtri RFD 900 Mhz

No	Peneliti Dan Judul	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
3.	Seno Nugroho dengan judul “Sistem Navigasi Gerak Roboboat Berdasarkan GPS Menggunakan Metode Waypoint”	- Menggunakan Navigasi Waypoint untuk menentukan referensi titik yang dituju - Steering menggunakan servo	- Wahana dikendalikan secara otomatis - Menggunakan Ardupilot Mega 2560 - Komunikasi menggunakan 3DR 433 Mhz	- Wahana dikendalikan secara manual - Menggunakan Pixhawk Cube Black - Komunikasi menggunakan Telemtri RFD 900 Mhz

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Cube Black

Pengendali terbang Cube Black (dikenal sebagai Pixhawk 2.1) adalah perangkat autopilot fleksibel yang ditujukan terutama untuk produsen sistem komersial. Perangkat didasarkan pada desain perangkat keras terbuka dari proyek Pixhawk FMUv3 dan menjalankan PX4 pada sistem operasi NuttX. Pengendali dirancang untuk dapat digunakan dengan wadah perangkat desain khusus supaya mengurangi pengkabelan yang rumit, meningkatkan keandalan, dan memudahkan perakitan (PX4 Autopilot, 2022).



Gambar 2. 1 Cube Black (Pixhawk 2.1)(PX4 Autopilot, 2022)

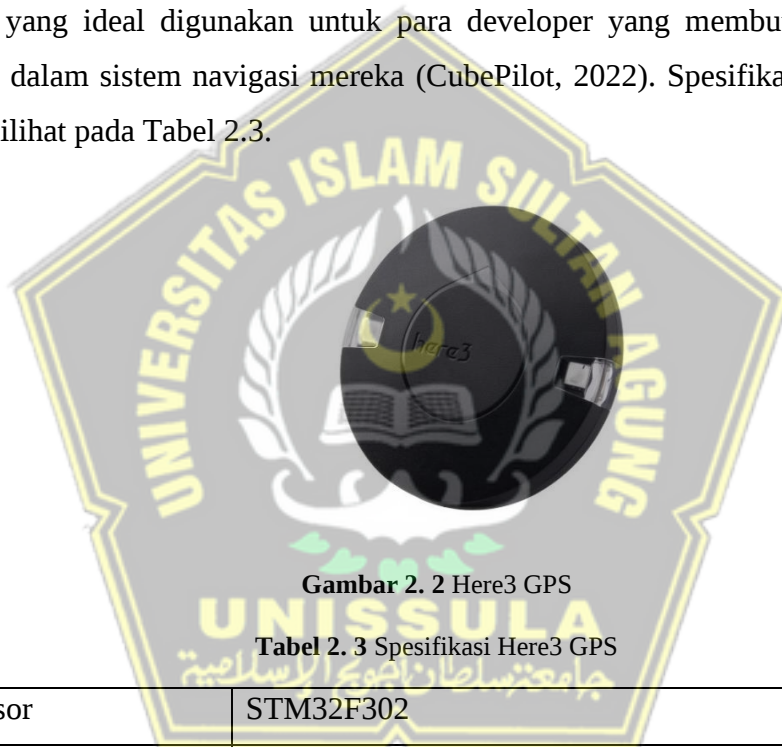
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 Pixhawk Cube Black memiliki 2 port GPS, 2 port Telemtri, 1 port I2C, 1 port USB, 1 port Analog to Digital Converter 3,3 V, 2 port CAN, 1 port Spektrum DSM receiver, 2 port Daya, 1 port SBUS, 1 port Serial, 1 port RCIN, 8 port MAIN OUT, dan 6 port AUX OUT. Spesifikasi Pixhawk Cube Black dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Tabel spesifikasi pixhawk 2.1

Prosesor	- 32-bit ARM Cortex M4 inti dengan FPU - 168 Mhz/256 KB RAM/2 MB Flash - 32-bit failsafe prosesor cadangan
Sensor	- 3 sensor IMU (<i>Inertial Measuremen Unit</i>) dengan sistem redundan (akselerometer, giroskop, kompas) - InvenSense MPU9250, ICM20948 dan/atau ICM20648 sebagai sensor IMU pertama dan ketiga (akselerometer dan giroskop) - ST Micro L3GD20+LSM303D atau InvenSense ICM2076xx sebagai sensor IMU cadangan (akselerometer dan giroskop) - 2 sensor barometer MS5611 dengan sistem redundan
Daya	- Sistem catu daya redundan dengan failover otomatis - Tegangan input 7 V

2.2.2. Here3 GPS

GPS Here3 merupakan sistem GNSS dengan kepresisian tinggi, yang juga mendukung mode navigasi RTK dan dibangun dengan protokol CAN ditunjukkan pada Gambar 2.2. 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. GPS 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 (CubePilot, 2022). Spesifikasi Here3 GPS dapat dilihat pada Tabel 2.3.



Gambar 2. 2 Here3 GPS

Tabel 2. 3 Spesifikasi Here3 GPS

Prosesor	STM32F302
Sensor	Sensor IMU ICM20948 (Kompas, 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

2.2.3. Modul u-blox NEO-M8P

Modul NEO-M8P menggabungkan mesin pemosisian u-blox M8 berkinerja tinggi dengan teknologi *Real Time Kinematic* (RTK). U-blox NEO-M8P memberikan kinerja GNSS tingkat centimeter yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan navigasi kendaraan dan aplikasi kontrol alat berat lainnya yang memerlukan panduan akurat. Pada Gambar 2.3 ditunjukkan gambar modul u-blox NEO-M8P.



Gambar 2. 3 Modul U-blox NEO-MP

Teknologi RTK u-blox memperkenalkan konsep "rover" (NEO-M8P-0) dan "base" (NEO-M8P-2) pada platform M8 untuk akurasi tingkat centimeter di lingkungan langit cerah dan tanpa halangan. Modul "base" mengirimkan koreksi melalui protokol RTCM ke modul rover melalui tautan komunikasi, memungkinkan rover untuk menampilkan posisinya relatif terhadap titik *base* pada akurasi tingkat sentimeter. NEO-M8P sangat ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kendaraan untuk bergerak lebih cepat dan lebih akurat, beroperasi lebih efisien, dan secara otomatis kembali ke platform dasar.

2.2.4. Remote Control Transmitter-Receiver

Radio kontrol Flysky fs-i6 sebagai pemancar gelombang. Flysky fs-i6 adalah pemancar kualitas 6 channel dengan kecepatan tinggi dan maksimal. Flysky fs-i6 memiliki kecepatan 2.405- 2.475GHz dengan teknologi telemetri AFHDS atau *Automatic Frequency Hopping Digital System* yang begitu stabil dan juga handal. Flysky i6 bertegangan rendah tidak sampai 4.2V, tetapi memiliki power konektor dan baterai yang optimal. Sedangkan Flysky fs-ia6b merupakan penerima dengan

6 channel komunikasi (Junan, Poekoel and Putro, 2018). Pada Gambar 2.4 ditunjukkan Remote Control *Transmitter* FS-i6 dan *Receiver* FS-ia6b.



Gambar 2. 4 Remote Control *Transmitter* FS-i6 dan *Receiver* FS-ia6b

2.2.5. Motor Servo (metal gear servo mobilio store)

Motor servo adalah salah satu jenis motor DC dengan sistem umpan balik tertutup yang terdiri dari motor DC, rangkaian gear box, rangkaian kontrol dan juga potensiometer. Jadi motor servo sebenarnya tidak berdiri sendiri melainkan didukung oleh komponen lain dalam satu paket yang sama. Fungsi potensiometer motor servo adalah untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo dapat diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal kabel servo itu sendiri. Oleh karena itu, motor servo dapat berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. (Mulyono, 2019).

2.2.6. ESC (*Electronic Speed Control*)

ESC (*Electronic Speed Controller*) adalah modul rangkaian elektronik yang bertugas untuk mengatur putaran motor listrik dengan mengatur arus yang dibutuhkan oleh motor itu sendiri. Pemilihan ESC tidak boleh sembarangan, harus disesuaikan dengan kebutuhan motor listrik yang digunakan. Arus ESC harus lebih

besar atau setidaknya sama dengan kebutuhan arus motor yang digunakan dalam sistem. Hal ini mencegah sistem bekerja secara tidak optimal ketika arus listrik ESC lebih rendah dari motor yang digunakan, ESC terlalu panas atau lebih buruk lagi, ESC dapat terbakar (Abdullah, Rusidinar and R, 2022).



Gambar 2. 5 ESC QuickRun WP 1060 Brushed

QuickRun WP 1060 Brushed adalah salah satu tipe ESC sikat yang memiliki kapabilitas arus 60 Ampere. ESC tipe ini dapat diaplikasikan pada motor DC Brushed.

2.2.7. Baterai LiPo (Lithium Polymer)

Baterai Lithium Polymer atau sering dikenal dengan LiPo adalah jenis baterai yang biasa digunakan di dunia RC. Baterai LiPo tidak menggunakan cairan sebagai elektrolitnya, melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang dibentuk menjadi lapisan tipis film plastik. (Novriditiyo, Sugiri and Nurcahyo, 2021). Baterai yang digunakan berjenis Lipo 2200 mAh 2S dengan tegangan 7,4 V ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Baterai Lipo 2200 mAh 2S

2.2.8. Telemetry

Sistem komunikasi kendaraan dibagi menjadi beberapa jenis. Komunikasi kendaraan dengan *Ground Control Station*, komunikasi kendaraan dengan kendali jarak jauh, dan komunikasi kendaraan melalui satelit. Transmisi data dari kendaraan ke *Ground Control Station* dilakukan melalui sistem telemetry dua arah. Sistem telemetry itu sendiri menggunakan gelombang radio 915MHz untuk mengirim dan menerima sinyal dari kendaraan dan *Ground Control Station*. Sistem telemetry ini mengetahui semua informasi tentang kendaraan yang sedang digunakan. Mulai dari posisi bujur dan lintang, kemiringan kendaraan, arah kendaraan, mode yang sedang digunakan, GNSS yang terhubung ke kendaraan, jumlah satelit yang terhubung ke kendaraan, dan lain sebagainya. Sistem telemetry memberikan informasi kepada pilot sehingga mengetahui status kendaraan dengan cepat dan akurat.

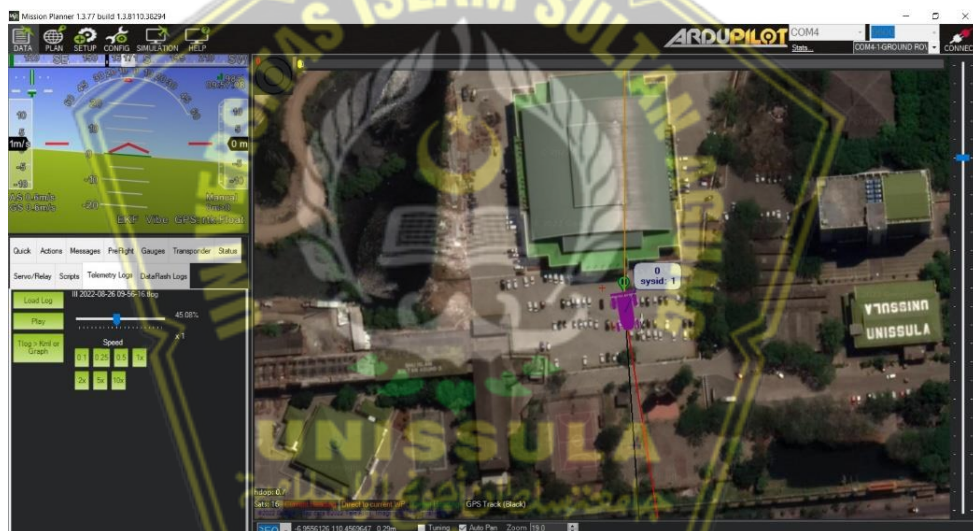


Gambar 2. 7 Transmitter dan Receiver Telemetry RFD 915 Mhz

Sistem telemetry yang digunakan pada wahana adalah RFD 900MHz *transceiver* ditunjukkan pada Gambar 2.8. Modul telemetry ini bisa menjadi transmitter dan bisa menjadi *receiver* tergantung peletakan modul tersebut. Sistem telemetry ini dapat menjangkau stasiun kontrol darat dalam radius lebih dari 1km. Telemetry ini kompatibel dengan perangkat lunak yang digunakan, yaitu Mission Planner.

2.2.9. Mission Planner

Mission Planner adalah *Ground Control Station* (stasiun kontrol darat) untuk pesawat, *quadcopter*, maupun rover. Mission Planner dikembangkan khusus untuk memfasilitasi perencanaan kontrol otomatis dan juga banyak digunakan untuk pemetaan. Sehingga perhitungan manual tentang *altitude* (ketinggian), skala, nilai *overlap*, resolusi spasial dan lainnya secara otomatis mendapatkan hasil perhitungan. Sebelum rover berjalan otomatis, persiapan menyeluruh untuk kendaraan dilakukan oleh Mission Planner dengan pengaturan PID (Proportional Integral Derivative), kalibrasi kompas, dan kalibrasi kendali jarak jauh dengan rover. (Alfiandy, Suprayogi and F, 2021). Menu tampilan Mission Planner ditunjukkan pada Gambar 2.9.

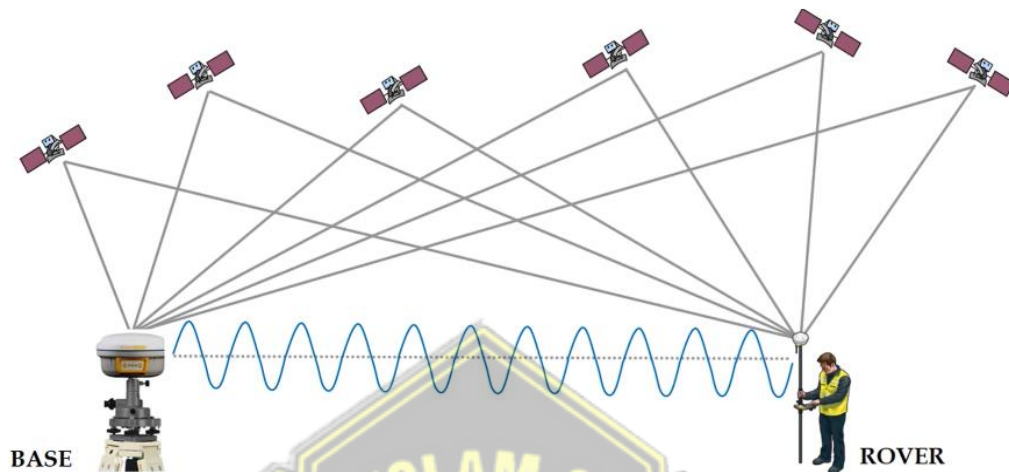


Gambar 2. 8 Tampilan Mission Planner

2.2.10. Real Time Kinematic

RTK merupakan salah satu metode akurat untuk mendapatkan posisi titik yang diinginkan dalam waktu pengamatan yang singkat berdasarkan kode data diferensial dan carrier phase. Pengkodean data diferensial dan carrier phase digunakan untuk mengukur titik koordinat yang diinginkan. Secara umum, metode ini merupakan cara terbaik untuk mendapatkan koordinat titik yang sangat akurat

dalam waktu singkat (Marbawi, Yuwono and Sudarsono, 2015). Metode RTK dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 9 Pengamatan Real Time Kinematic (RTK) yang terdiri atas base station dan rover

Metode RTK terdiri dari *base station* dan rover, dimana *receiver* dengan *base station* tidak mengubah posisi antena selama pengukuran, sedangkan *receiver* yang berperan sebagai rover dipindahkan sesuai dengan penempatan yang direncanakan. *Base station* dan rover harus selalu menerima sinyal GPS selama pengukuran, koreksi diferensial dikirim dari base station ke rover menggunakan fasilitas RTCM. Untuk komunikasi data, *base station* dilengkapi dengan perangkat pemancar, sedangkan rover dilengkapi dengan perangkat penerima data. Komunikasi dilakukan melalui pita frekuensi UHF/UHF, untuk itu dituntut adanya visibilitas langsung (*line of sight*) antara base dan rover.

2.2.11. Sistem navigasi

Sistem navigasi yang dikenal adalah sistem navigasi satelit, juga dikenal sebagai GPS (*Global Positioning System*) atau GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Saat ini alat navigasi dipasang hampir di setiap smartphone di dunia, sehingga navigasi GPS ini sangat populer. Sistem navigasi lain yang juga dipasang pada smartphone adalah sistem navigasi inersia. Sistem navigasi inersia biasanya melekat pada kendaraan bergerak yang memberikan informasi navigasi dalam bentuk vektor posisi, kecepatan, arah, dan sikap. Navigasi adalah alat bantu

pengarah suatu kendaraan untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain berdasarkan informasi lokasi dan arah yang diberikan oleh perangkat navigasi. Alat navigasi merupakan perangkat yang dilengkapi sensor yang dapat memberikan informasi lokasi dan arah geografis di permukaan bumi, sehingga alat navigasi ini sangat dibutuhkan pada saat kendaraan bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Salah satu alat navigasi yang terkenal adalah receiver (Irfan and Haryanto, 2020).

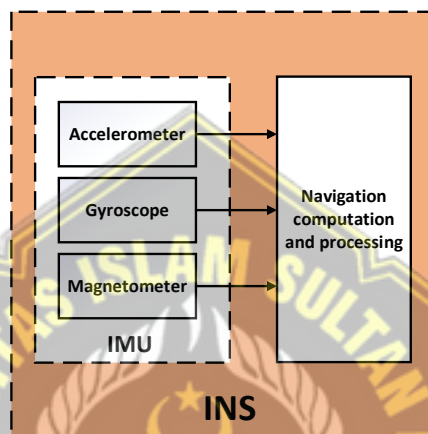
Metode penentuan posisi GPS menawarkan banyak keuntungan, termasuk memberikan informasi lokasi yang cepat dan benar-benar akurat tanpa batasan cuaca dan waktu. Namun GPS memiliki kelemahan yaitu sangat bergantung pada perambatan sinyal gelombang elektromagnetik dari satelit GPS ke penerima GPS. Jika suatu objek menghalangi sinyal dari satelit GPS ke penerima GPS, sinyal tidak akan sampai ke penerima GPS, yang berakibat penghentian proses perhitungan posisi. Kondisi ini terjadi saat kendaraan (seperti mobil) yang terhubung ke penerima GPS melewati terowongan atau di sekitar pepohonan rimbun. Posisi, kecepatan, arah (*heading*) dan sikap (*attitude*) suatu kendaraan merupakan informasi penting dalam suatu sistem navigasi. Oleh karena itu untuk mendapatkan informasi kelabilan secara kontinyu dapat digunakan sistem navigasi alternatif, yakni *Inertial Navigation System* (INS). (Irfan and Haryanto, 2020).

Inertial Navigation System (INS) adalah sistem navigasi yang bergantung sepenuhnya pada pengukuran nilai inersia untuk navigasi. *Inertial Navigation System* terdiri dari akselerometer yang mengukur percepatan perpindahan dan giroskop yang mengukur sudut rotasi. Nilai yang dihasilkan disebut *Inertial Measurement Units* (IMU). Dengan menggunakan hasil pengukuran IMU, INS dapat menghitung arah kecepatan, dan posisi sistem dari titik awal atau ke titik referensi global. Sistem navigasi inersia digunakan dalam banyak aplikasi seperti navigasi pesawat terbang, rudal taktis dan strategis, pesawat luar angkasa, kapal selam, dan kapal laut. (Irfan and Haryanto, 2020).

2.2.12. 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. (Ardiansyah, 2018).



Gambar 2. 10 Konfigurasi umum INS

Pada Gambar 2.10, 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* (Camomilla et al., 2018).

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 (Ardiansyah, 2018).

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 2.11. Sensor tersebut bekerja dengan menginduksi perpindahan dari *proof mass* pada sumbu x, y, z, dan pengukuran perpindahan diferensial sensor kapasitif (InvenSense, 2016).



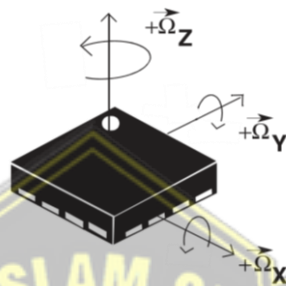
Gambar 2. 11 Akselerometer

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 (Ardiansyah, 2018).

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 (InvenSense, 2016). Benda yang berotasi

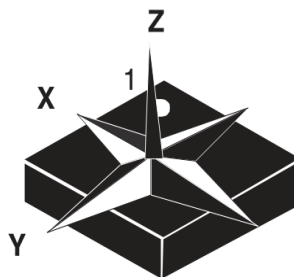
pada suatu sumbu mempunyai kecepatan sudut. Jika sensor berada tegak lurus dengan sumbu z, maka sensor dapat mengukur kecepatan sudut pada sumbu z. Sedangkan kedua sumbu yang lain tidak melakukan pengukuran rotasi apapun. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.12, sensor tersebut dapat mengukur kecepatan rotasi yang terjadi di sekitar sumbu x, y, dan z (Ardiansyah, 2018).



Gambar 2. 12 Girooskop

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 (Ardiansyah, 2018). Sensor tersebut melakukan pengukuran pada sumbu x, y, dan z seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. 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 (InvenSense, 2016).



Gambar 2. 13 Magnetometer

4. Kompas

Kompas merupakan salah satu alat penting dalam navigasi yang berfungsi sebagai penunjuk arah berdasarkan posisi kutub bumi. Sensor kompas ICM 20498 adalah sebuah MCM (Multi-Chip Module) yang terdiri dari dua cip yang saling terintegrasi satu sama lain. Cip pertama terdiri dari akselerometer 3-sumbu dan giroskop 3-sumbu. Sedangkan pada cip yang lain terdiri dari magnetometer AK09916 3-sumbu. Gambar 2.14 akan menunjukkan arah mata angin pada kompas.



Gambar 2. 14 Arah mata angin pada kompas

2.2.13. GNSS (*Global Navigation Satellite System*)

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah istilah singkatan dari suatu sistem satelit navigasi yang menyediakan posisi geospasial dalam lingkup global. GNSS telah beroperasi penuh sejak Desember 2009. Diawali dengan *Global Positioning System* (GPS). GPS ini adalah konstelasi dari setidaknya 24 satelit yang memberikan informasi koordinat posisi yang akurat secara global. GPS menggunakan satelit dan komputer untuk menghitung posisi dimanapun didunia. Sistem ini dimiliki, dioperasikan dan dikendalikan oleh *Departement of Defenses* (DoD) Amerika Serikat. GNSS dapat dipergunakan secara global dimanapun dan oleh siapapun di muka bumi ini secara gratis (Wahyono and Subroto, 2019).

Seiring dengan perkembangan Satelit GPS, sistem GNSS Rusia GLONASS mencakup 18 satelit di seluruh dunia sejak Desember 2009, dan satelit

Eropa GALILEO serta COMPASS China sedang dalam pengembangan. GLONASS (*GLObal`naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*, atau *Global Navigation Satellite System*) adalah sistem navigasi luar angkasa Rusia, sebanding dengan sistem GNSS Rusia. terdapat 21 satelit dalam tiga orbit datar.

NAVSTAR GPS, atau yang lebih sering disebut sebagai GPS, adalah satelit yang dibuat dan dioperasikan Amerika Serikat yang diluncurkan pada 22 Februari 1978 untuk keperluan penentuan posisi dan navigasi. Sampai saat ini ada 32 satelit GPS yang bisa digunakan untuk penentuan posisi dan navigasi.

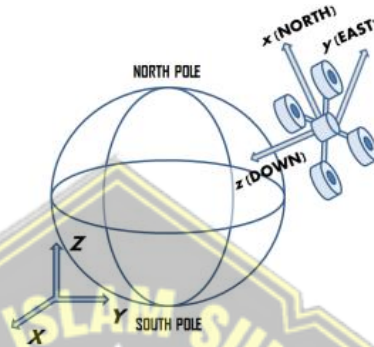
GLONAS adalah sistem navigasi satelit global kedua setelah GPS. Pembangunan satelit GLONASS dimulai pada tahun 2001 dengan peluncuran satelit ke orbit oleh pemerintah Rusia. Sejauh ini ada 29 satelit aktif, namun hanya 24 yang sehat.

Galileo adalah satelit yang dibangun oleh negara-negara anggota Uni Eropa. Pembangunan satelit GLONASS dilakukan oleh Komisi Eropa (*European Commission*) dan ESA (*European Space Agency*). ESA bekerja sama dengan *Galileo Industries GmbH* (sekarang *European Satellite Navigation Industries* = ESNI). Jika GPS dan GLONASS awalnya ditujukan untuk penggunaan militer, tujuan awal Galileo memang untuk menguntungkan pembangunan ekonomi global dan kepentingan sipil. Pada tahun 2013, sesuai tahapan konstruksi, telah beroperasi penuh dengan 27 (+3) satelit Galileo yang beroperasi penuh.

Pada tahun 2000, China mulai mengembangkan satelit untuk keperluan penentuan posisi dan navigasi. Satelit penentuan posisi dan navigasi ini disebut COMPAS tetapi dalam bahasa Cina disebut Beidou. Ada tiga tahap pengembangan satelit Beidou ini: Tahap I (periode 2000 - 2003) awalnya membangun sistem navigasi satelit di China, Tahap II tahun 2012 menjangkau seluruh kawasan Asia-Pasifik, Tahap II tahun 2020 menjangkau seluruh kawasan Asia-Pasifik, keliling dunia. Segmen luar angkasa dari sistem COMPASS diharapkan mencakup 5 satelit GEO dan 30 satelit non-GEO.

2.2.14. Koordinat NED (North East Down)

Koordinat NED (*North East Down*) digunakan untuk memperlihatkan kecepatan dan posisi relatif. Asal-usul koordinat dapat dianggap sebagai posisi saat ini. Dari asal itu, sumbu utara menunjuk ke utara dan sejajar dengan garis lintang pada titik tersebut.



Gambar 2. 15 Koordinat NED (*North East Down*)

Titik sumbu timur tegak lurus dengan sumbu utara dan sejajar dengan garis bujur pada titik itu. Sumbu ke bawah mengarah langsung ke bawah menuju pusat Bumi. Lihat Gambar 2.11 untuk representasi grafis dari kerangka koordinat NED pada posisi di Bumi.

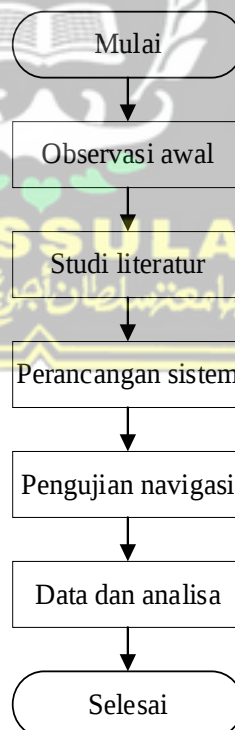
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Deskripsi Umum

Penelitian ini dilakukan di depan Gedung Auditorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang (UNISSULA). Penelitian ini tentang navigasi menggunakan *controller* Pixhawk 2.1 dengan modul GPS Here3 sebagai receivernya dan kendaraan yang digunakan yaitu mobil RC MN-D90 4x4 dengan skala 1:12.

Pengujian navigasi ini dilakukan dengan metode beberapa rute dan dikendalikan oleh radio kontrol secara manual. Mobil RC dikendalikan bergerak mengikuti rute yang sudah ditentukan, yang nantinya sensor-sensor pada *controller* akan membacanya, kemudian data akan tersimpan dalam log.



Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian

Keterangan :

1. Observasi awal

Observasi dilakukan untuk mendapatkan data awal pengujian. Langkah ini memberikan hipotesis awal dan batasan serta masalah yang terkait dengan pengambilan data navigasi yang akan dilakukan untuk mendapatkan pembacaan sensor dan akurasi GPS yang tinggi. Observasi dilakukan di depan Gedung Auditorium UNISSULA berupa kegiatan pengujian pembacaan GPS dikendalikan secara manual dengan beberapa rute yang berbeda.

2. Studi literatur

Untuk memperkuat pengamatan 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 sistem navigasi kendali manual dan juga literatur mengenai penggunaan teknologi ini untuk sistem navigasi.

3. Perancangan sistem

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

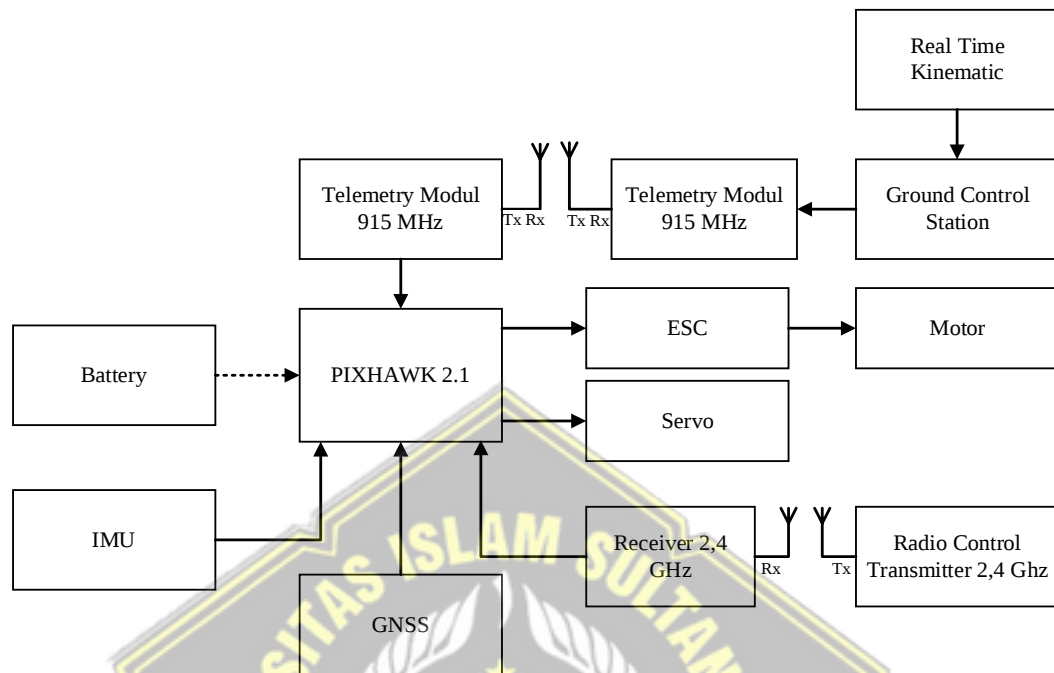
4. Pengujian navigasi

Pengujian sistem navigasi dilakukan dengan menguji pembacaan sensor IMU pada Pixhawk 2.1 maupun GPS Receiver

5. Data dan Analisa

Tahapan ini akan membahas hasil pengujian navigasi menggunakan controller Pixhawk 2.1. Hasil pengujian akan dikaji dan dianalisa untuk mendapatkan unjuk kerja masing-masing sensor yang dijalankan berdasarkan rute yang telah dibuat.

3.2. Blok Diagram



Gambar 3. 2 Blok diagram

Pada Gambar 3.2 adalah diagram blok sistem navigasi rover berbasis Pixhawk 2.1. Dapat dijelaskan pada table 3.1 bahwa sistem terdiri dari beberapa modul sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Modul sistem navigasi (Khosyi'in *et al.*, 2021)

No	Perangkat	Deskripsi
1.	Pixhawk - Prosesor : 32-bit ARM Cortex M4 inti dengan FPU - 168 Mhz/256 KB RAM/2 MB Flash - 32-bit failsafe 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</i> .

No	Perangkat	Deskripsi
2.	IMU Cube - Jenis sensor IMU yang digunakan yaitu MPU9250, LSM303D, L3GD20.	Sensor IMU dalam Cube ini sudah satu paket terpasang dengan Pixhawk. Pada Sensor MPU9250 sudah termasuk 9 <i>Degree of Freedom</i> (DOF) dengan 3 sumbu sensor akselerometer, 3 sumbu sensor giroskop, dan 3 sumbu sensor magnetometer. Sensor LSM303D masih 6 DOF dengan 3 sumbu sensor akselerometer dan 3 sumbu sensor magnetometer. Sedangkan sensor L3GD20 hanya 3 DOF dengan 3 sumbu sensor giroskop.
3.	GNSS - Memiliki sensor IMU ICM20948 - Receiver yang digunakan Ublox Neo-M8P	Modul GPS/GNSS yang digunakan adalah Here3. GPS/GNSS ini telah dilengkapi dengan sensor ICM2094 (kompas, giroskop, dan akselerometer). Modul ini mampu menerima hingga 3 GNSS (GPS, Galileo, BeiDou) secara bersamaan, dan jenis receiver yang digunakan yaitu U-blox Neo-M8P.
4.	Telemetri modul RFD 915 MHz - Daya keluaran: 1W (+ 30dBm) - Kecepatan transfer Data udara: 4, 8, 16, 19, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192 dan 250 kbit/dtk - Ukuran: 30mm (lebar) x 57mm (panjang) x 12.8mm	Modul radio telemetri yang digunakan adalah RFD 900x 5V yang bekerja pada rentang frekuensi 915 Mhz untuk mengirim dan menerima data pembacaan modul sistem navigasi. Radio telemetri ini memungkinkan jangkauan mencapai 40 km jika keadaan (Line Of Sight) atau tanpa penghalang. Radio telemetri ini menggunakan

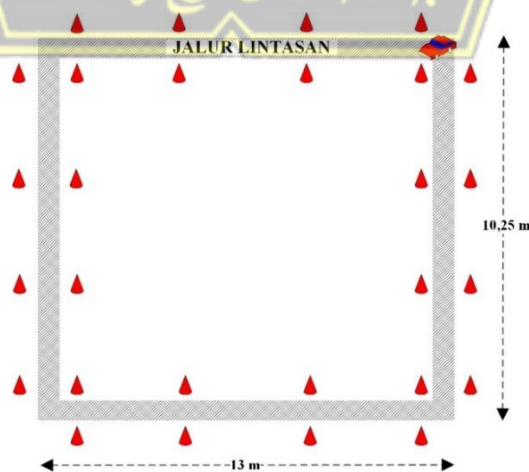
No	Perangkat	Deskripsi
	- Berat: 14.5g - Daya: + 5v, dengan arus puncak maksimal 800mA	firmware open source yang telah dirancang khusus untuk bekerja pada MAVLink dan terintegrasi dengan Mission Planner.
5.	<i>Ground Control Station</i>	Perangkat ini memiliki fungsi untuk mengamati dan mengontrol kendaraan. Dalam implementasinya, <i>Ground Control Station</i> merupakan perangkat komputer yang sudah terpasang firmware Mission Planner. Mission Planner adalah aplikasi ground station berfitur lengkap untuk Ardupilot open source proyek autopilot. Ground Control Station dapat digunakan untuk Pesawat, Quadcopter, dan Rover. Mission Planner dapat digunakan sebagai konfigurasi dan pengontrol untuk kendaraan.
6.	Radio Control Transmitter 2,4 GHz - Rentang RF : 2,40-2,48 GHz - Sensitivitas penerima RF : -105 dBm - Daya : 4.0-6.5V - Ukuran : 40,4x21.1x7.35mm - Berat: 6 .4g	Perangkat ini merupakan modul pemancar yang mengontrol kecepatan motor, baik maju maupun mundur, dan mengontrol servo roda depan sebagai kemudi untuk membelokkan kendaraan. Jenis perangkat yang digunakan adalah Flysky FS-I6 2,4 Ghz dengan model 6-channel dengan receiver FS-IA6B.

No	Perangkat	Deskripsi
7.	Receiver 2,4 GHz - Rentang Frekuensi : 2.4055-2.475GHZ - Sensitivitas Penerima RF : -105 dbm - Daya Input : 4.0-6.5V DC - Dimensi : 47 x 26.2 x 15mm	Modul receiver yang digunakan adalah Flysky FS-IA6B yang terhubung dengan transmitter FS-I6. Receiver flysky FS-I6 terdapat 6-cahnnel yang bekerja pada frekuensi 2,4 Ghz.
8.	ESC (<i>Electronic Speed Control</i>) - Voltage: 7.4-11.1V - Maju : Arus kontinu/arus Puncak: 60A /360A - Mundur : Arus kontinu/arus puncak: 30A /180A - Keluaran: arus kontinu 60A, arus burst 360A. - Frekuensi PWM: 1KHz - Dimensi / Berat: 36,5*32*18 / 39g	Perangkat elektronik yang mengatur kecepatan motor dengan mengatur besarnya arus yang dibutuhkan. Jenis ESC yang digunakan adalah Hobbywing Quicrun 1060 brushed 60 A.
9	Motor - Diameter shaft 2mm panjang 7.5mm - Kecepatan 18000 rpm 3.7V 0.5A - Kecepatan 31000 rpm 7.4V 0.9A	Motor penggerak yang digunakan adalah dynamo RC 370 dengan kecepatan 31.000 rpm dengan tegangan 7,4 V dengan jenis baterai Lipo 2S.
10.	Servo - Rentang teggangan : 4.8-6.0 V	Jenis motor servo yang digunakan adalah Digital Servo Core Metal 3.5 Kg Torsi + Servo Arm 25T.

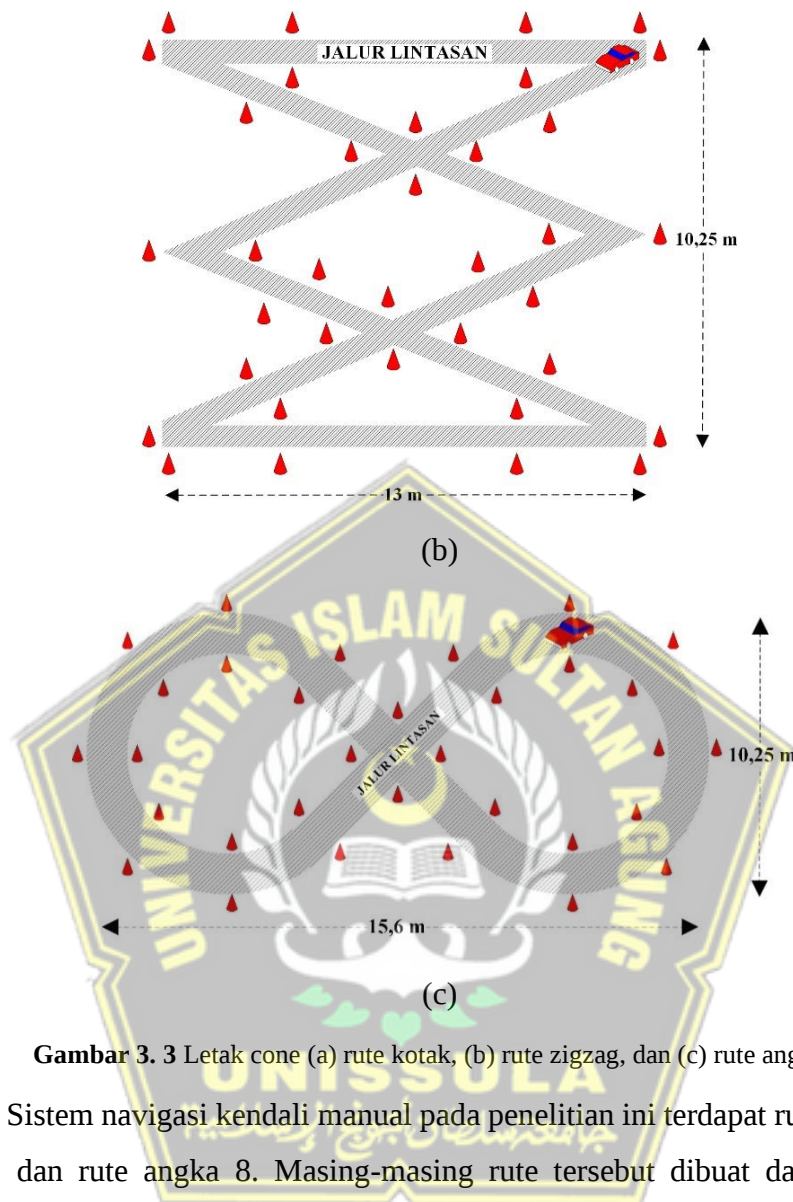
No	Perangkat	Deskripsi
	- Operating speed : max. 0.11 detik 60°	
11.	Battery	Sumber catu daya mobil RC menggunakan baterai Lipo LPB 2S 7.4 V 2200 mAh 25C, dan baterai ini juga digunakan untuk menghidupkan controller Pixhawk

3.3. Lokasi dan Rute Pengujian

Pada penelitian ini pengujian dilakukan di depan Gedung Auditorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Karena lokasi tersebut cukup luas dan sedikit halangan, dengan harapan GPS Here3 bisa bekerja dengan baik. Rute pengujian navigasi yang dilakukan terdapat 3 rute, yaitu rute kotak, rute zigzag, dan rute angka 8. Pada gambar 3.3 ditunjukkan penempatan cone pada masing-masing rute navigasi. Penempatan cone tersebut bertujuan untuk membatasi jalur gerak pada saat navigasi yang dikendalikan secara manual, agar kendaraan tidak melebar dan tetap sesuai dengan titik referensi yang telah ditentukan saat navigasi dilakukan. Cone tersebut diletakkan pada referensi titik koordinat yang telah ditentukan berdasarkan beberapa pohon sebagai acuannya.



(a)

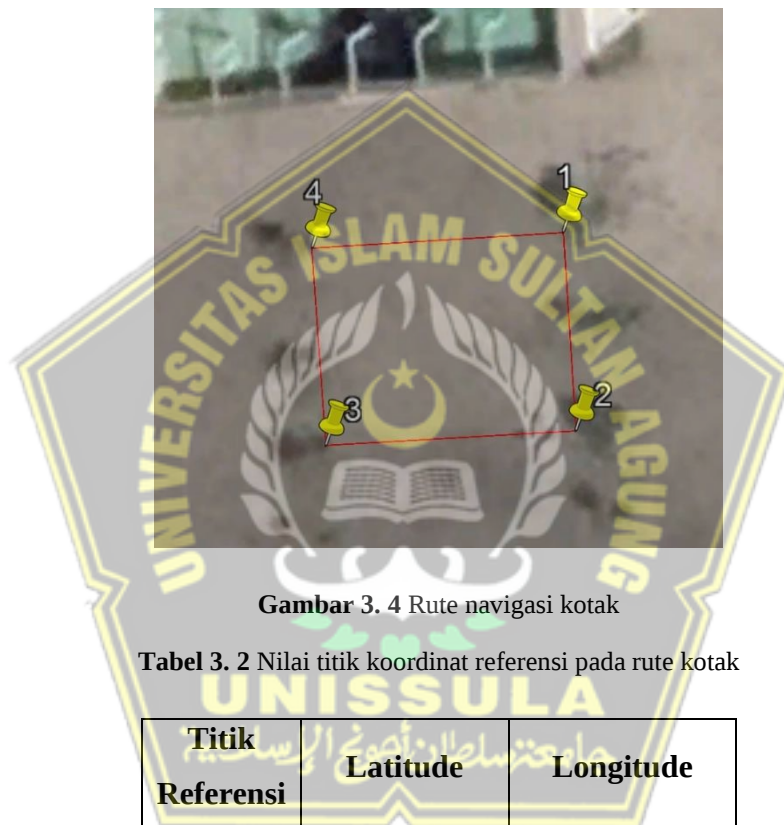


Gambar 3. 3 Letak cone (a) rute kotak, (b) rute zigzag, dan (c) rute angka 8

Sistem navigasi kendali manual pada penelitian ini terdapat rute kotak, rute zigzag, dan rute angka 8. Masing-masing rute tersebut dibuat dalam software Google Earth, untuk menentukan rute navigasi dan titik referensi yang digunakan berdasarkan obyek statis di depan Gedung Auditorium UNISSULA yaitu pohon-pohon di depan gedung (Rumpa *et al.*, 2020). Letak jalur navigasi tersebut berada di tengah-tengah cone agar rute yang dibentuk oleh kendaraan pada saat navigasi tidak terlalu jauh dari referensi titik koordinat. Masing-masing rute navigasi tentunya memiliki referensi titik koordinat yang berbeda dan jumlah titik yang berbeda, karena masing-masing rute memiliki jumlah belokan yang berbeda, sehingga semakin banyak belokan maka semakin banyak titik referensi yang akan dilewati. Jumlah keliling masing-masing rute kotak, zigzag, maupun angka 8 yang

dibuat pada software Google Earth sama dengan jumlah keliling saat pengukuran di lapangan.

Gambar 3.4 menunjukkan rute navigasi kotak, pada rute ini memiliki 4 referensi titik koordinat yang akan dilewati oleh kendaraan dan mempunyai keliling 44.5 meter. Nilai titik koordinat pada masing-masing titik referensi ditunjukkan pada table 3.2.

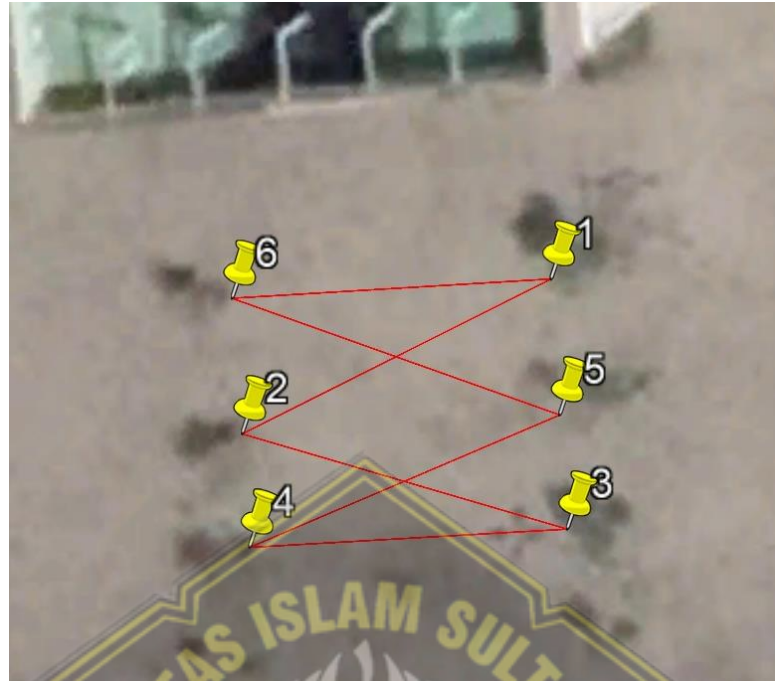


Gambar 3. 4 Rute navigasi kotak

Tabel 3. 2 Nilai titik koordinat referensi pada rute kotak

Titik Referensi	Latitude	Longitude
1	-6.955545	110.456959
2	-6.955637	110.456965
3	-6.955643	110.456847
4	-6.955551	110.456842

Gambar 3.5 menunjukkan rute navigasi zigzag, pada rute ini memiliki 6 referensi titik koordinat yang harus dilewati oleh kendaraan dan mempunyai keliling 82 meter. Nilai titik koordinat pada masing-masing titik referensi ditunjukkan pada table 3.3.

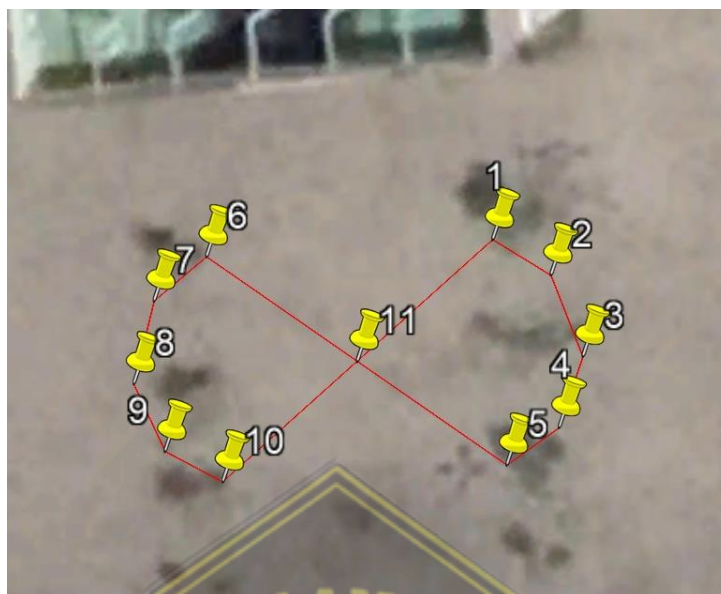


Gambar 3. 5 Rute navigasi zigzag

Tabel 3. 3 Nilai titik koordinat referensi pada rute zigzag

Titik Referensi	Latitude	Longitude
1	-6.955545	110.456959
2	-6.955601	110.456845
3	-6.955637	110.456965
4	-6.955643	110.456847
5	-6.955595	110.456962
6	-6.955551	110.456842

Gambar 3.6 menunjukkan rute navigasi zigzag, pada rute ini memiliki 11 referensi titik koordinat yang harus dilewati oleh kendaraan dan mempunyai keliling 59.8 meter. Nilai titik koordinat pada masing-masing titik referensi ditunjukkan pada table 3.4.



Gambar 3. 6 Rute navigasi angka 8

Tabel 3. 4 Nilai titik koordinat referensi pada rute angka 8

Titik Referensi	Latitude	Longitude
1	-6.955545	110.456959
2	-6.955556	110.456983
3	-6.955593	110.456996
4	-6.955622	110.456986
5	-6.955637	110.456965
6	-6.955551	110.456842
7	-6.955569	110.45682
8	-6.955602	110.456811
9	-6.95563	110.456823
10	-6.955643	110.456847
11	-6.955594	110.456903

Pada masing-masing rute navigasi dimulai pada titik 1, kemudian berjalan sesuai dengan nomor urut referensi titik koordinat dan Kembali lagi ke titik 1 yang menandakan navigasi sudah selesai.

3.4. Perancangan Hardware

Perancangan sistem navigasi menggunakan prototipe mobil RC dengan skala 1:12, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 Instalasi sistem ini dibagi menjadi dua perangkat keras: modul yang terpasang pada kendaraan dan modul yang terpasang pada *ground station*.

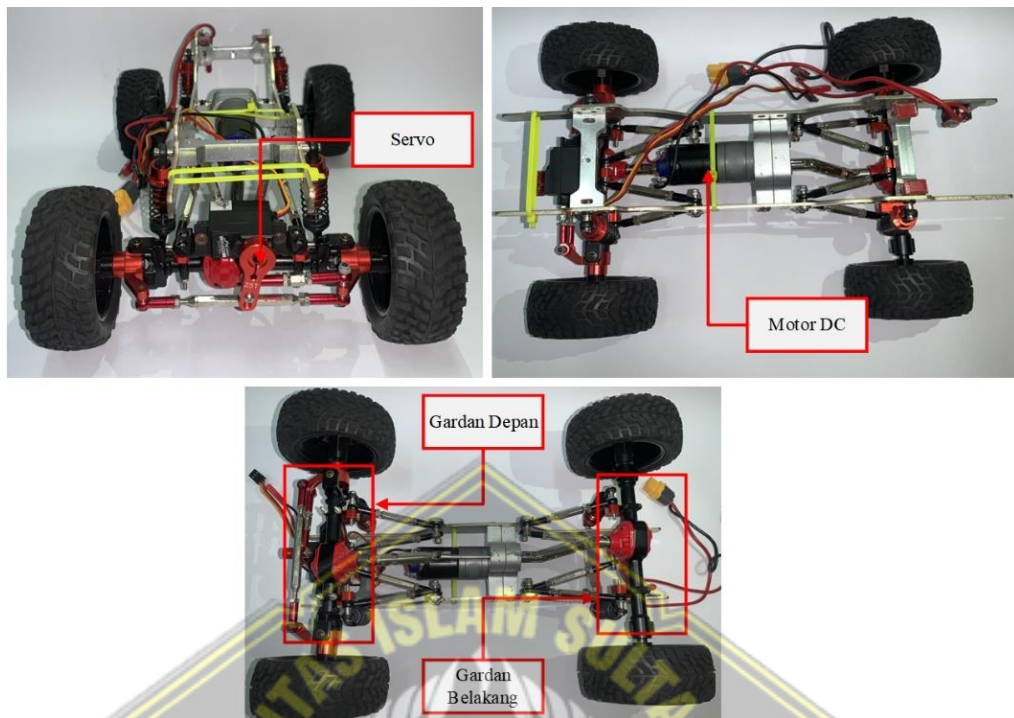


Gambar 3. 7 Implementasi modul pada rover

3.4.1. Perancangan Pada Kendaraan

Perancangan utama kendaraan adalah sistem kontrol kendaraan, yang dibangun dengan *controller* Pixhawk 2.1 dengan deskripsi sebagai berikut:

1. Sebuah mobil RC 4x4 dengan skala 1:12 dilengkapi dengan *spare part* seperti motor, gearbox seperti pada gambar 3.8. Gardan belakang, gardan depan, motor servo untuk kemudi. Motor penggerak dirakit dengan mekanisme gearbox untuk menggerakkan roda ke depan dan belakang, sedangkan kemudi servo digunakan untuk berbelok ke kanan dan kiri. Mobil RC pada penelitian navigasi ini memiliki dimensi Panjang 35 cm, lebar 16,5 cm, tinggi 20 cm, dan diameter masing-masing roda 7,8 cm.



Gambar 3. 8 Chasis rover tampak depan dan tampak atas

2. Mobil RC mendapat suplai daya dari baterai Lipo LPB 2S 7.4 V 2200 mAh 25C. Baterai ini juga merupakan power clean untuk Pixhawk 2.1 dengan menghubungkan mini power modul brick ke Pixhawk pada port power 1 menggunakan 6 pin dengan konektor XT60. Modul day ini memiliki output tegangan 5 volt dan arus kontinu maksimal 30A Max dengan arus burst 100A. *Controller* utama adalah Pixhawk 2.1 yang terpasang pada kendaraan. Semua perangkat input/output terhubung ke *controller* melalui port sesuai dengan tipe I/O masing-masing modul.
3. Modul GPS/GNSS Here3 terhubung langsung ke port CAN1 pixhawk 2.1 menggunakan kabel konektor 4 pin.
4. Modul Radio Telemetry RFD yang terpasang pada Pixhawk berfungsi untuk mengirimkan data ke *Ground Control Station*. Modul ini terhubung ke port UART melalui kabel konektor 6 pin.
5. Modul receiver yang digunakan adalah receiver Flysky FS-IA6B 2,4 GHz. Modul ini merupakan receiver yang sudah mendukung BUS/PPM, dengan cara

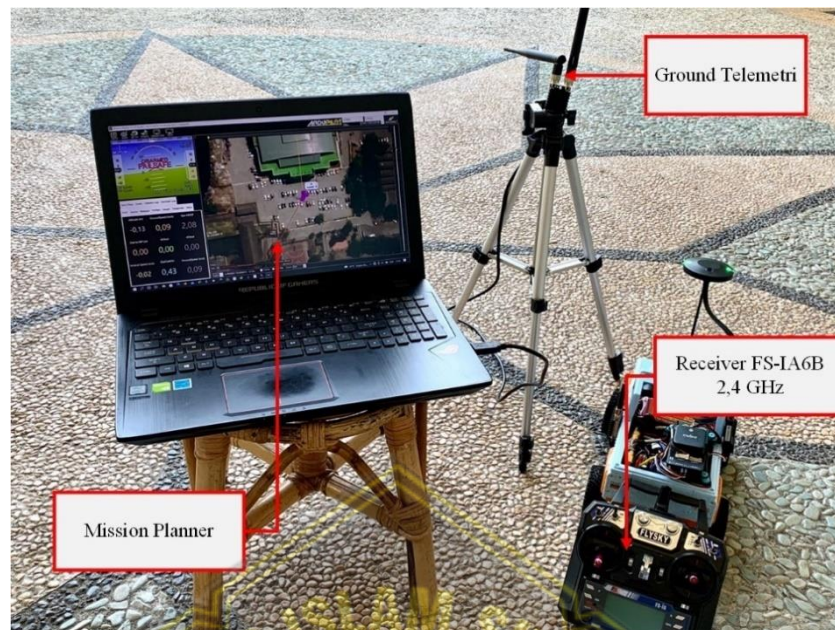
port PPM/CH1 pada receiver FS-IA6B dihubungkan ke port Main Out di RCIN pada Pixhawk 2.1 menggunakan kabel konektor 3 pin.

6. Steering servo terhubung ke Main Out di CH1 (PWM I/O 1) dan motor penggerak terhubung ke Pixhawk melalui ESC (*Electronic Speed Control*) yang terpasang ke Main Out di CH3 (PWM I/O 3).

3.4.2. Perancangan Pada *Ground Control Station*

Perancangan perangkat keras pada *Ground Station* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9 sebagai remote control yang terhubung secara nirkabel dengan radio telemetri RFD 900x terdiri dari :

1. Komputer, menjadi perangkat utama *ground station*. Komputer ini digunakan untuk instalasi pada GCS (*Ground Control Station*). Software yang digunakan adalah mission planner beroperasi pada OS Windows.
2. Radio Telemetri RFD 900x untuk *ground station* terpasang ke GCS melalui kabel USB. Modul ini memiliki dua status indikator LED, warna merah dan hijau. Status LED hijau berkedip menunjukkan perangkat sedang mencari modul telemetri lain, LED hijau solid menunjukkan radio telemetri sudah tersambung ke radio telemetri lain, LED merah berkedip menunjukkan perangkat sedang mentransmisikan data, dan LED merah solid menunjukkan perangkat radio telemetri dalam mode pembaruan firmware.
3. Radio Transmitter 2,4 GHz adalah perangkat opsional yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan motor penggerak dan servo untuk kemudi roda depan. Radio Transmitter terhubung ke Ground Station melalui radio telemetri dengan pengaturan modul Pixhawk sebagai penerima 2,4 GHz. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, Radio Transmitter diperlukan proses kalibrasi untuk menguji kinerja perangkat keras pada menu Radio Calibration di Mission Planner.



Gambar 3. 9 *Ground Control Station (GCS)*

Seperti pada gambar 3.9 instalasi Ground Control Station (GCS) diletakkan pada titik awal mulai pengujian navigasi yaitu titik 1 pada masing-masing rute. Letak instalasi GC ditunjukkan pada gambar 3.10.

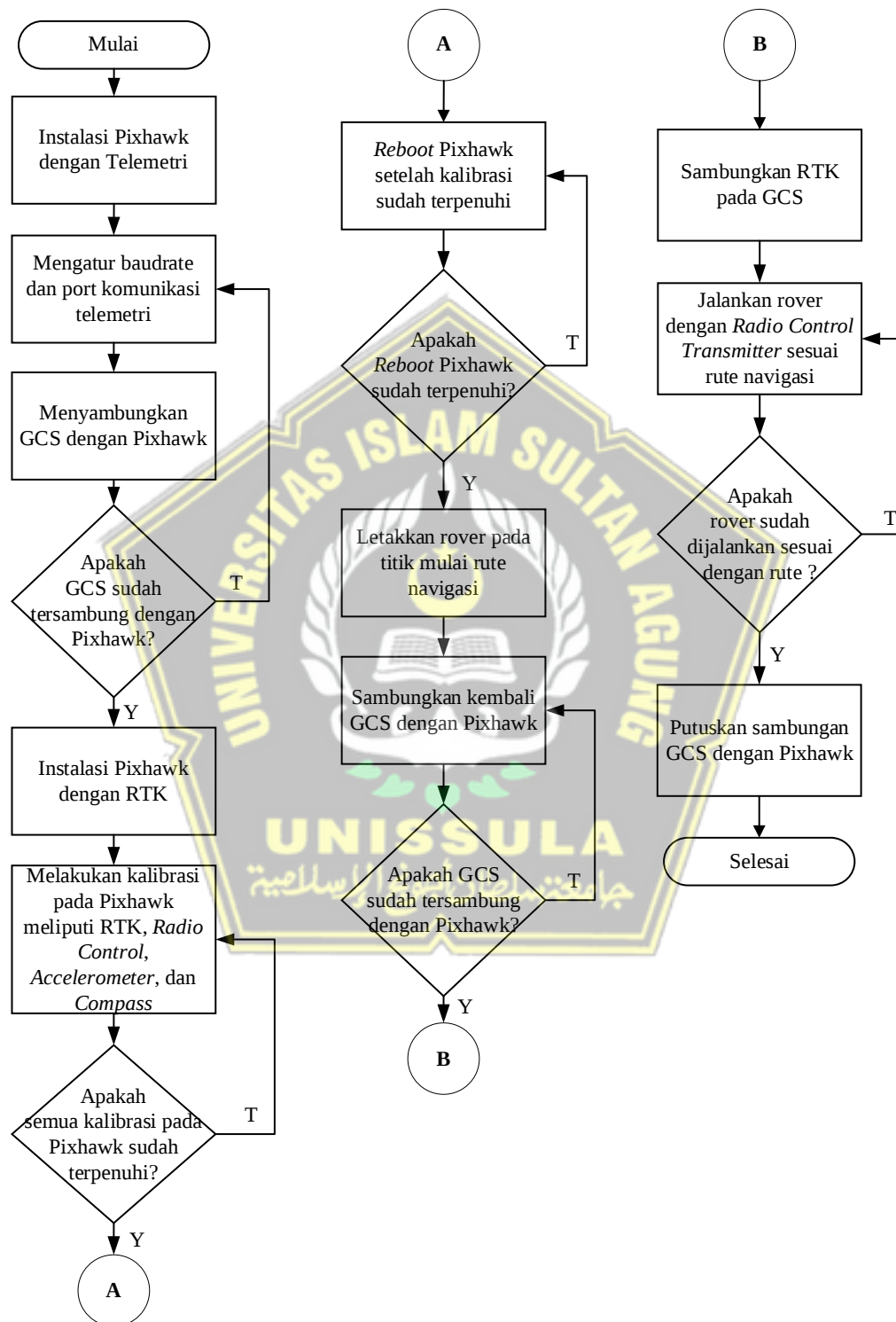


Gambar 3. 10 *Letak instalasi Ground Control Station*

3.5. Pengujian Navigasi

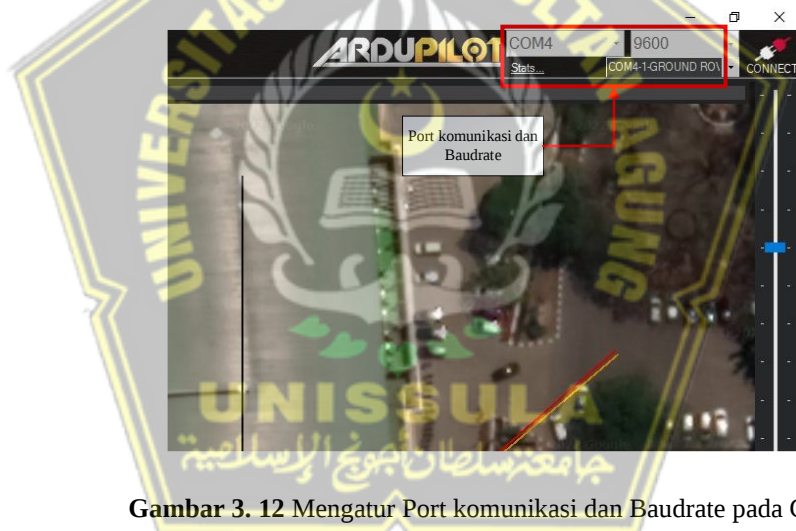
Pada Gambar 3.11 ini akan menunjukkan tahap-tahap metode pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan data log sistem navigasi. Pada pengujian

navigasi ini dilakukan 3 kali pada masing-masing rute secara bergantian, jadi pada penelitian ini berjumlah 6 kali pengujian yang dilakukan.



Gambar 3. 11 Flowchart Pengujian

1. Pada awal pengujian melakukan instalasi Pixhawk 2.1 dengan Telemetri 915 MHz agar GCS (*Ground Control Station*) tersambung dengan Pixhawk.
2. GCS yang digunakan adalah Mission Planner. Pada saat membuka software Mission Planner harus mengatur baudrate dan port komunikasi telemetri yang ditunjukkan pada gambar 3.12. Baudrate adalah kecepatan data yang dikirim melalui komunikasi serial, sedangkan port komunikasi yaitu untuk mengatur port komunikasi serial pada telemetri RFD 915 MHz. Jika sudah sesuai bisa diklik konek. Pada proses konek tersebut artinya Mission Planner sedang menyambungkan ke *controller* Pixhawk 2.1 dengan komunikasi antara telemetri pada *ground station* dengan telemetri yang terpasang pada rover. Apabila sudah selesai proses konek maka *Ground Control Station* (Mission Planner) sudah terhubung ke *controller*.

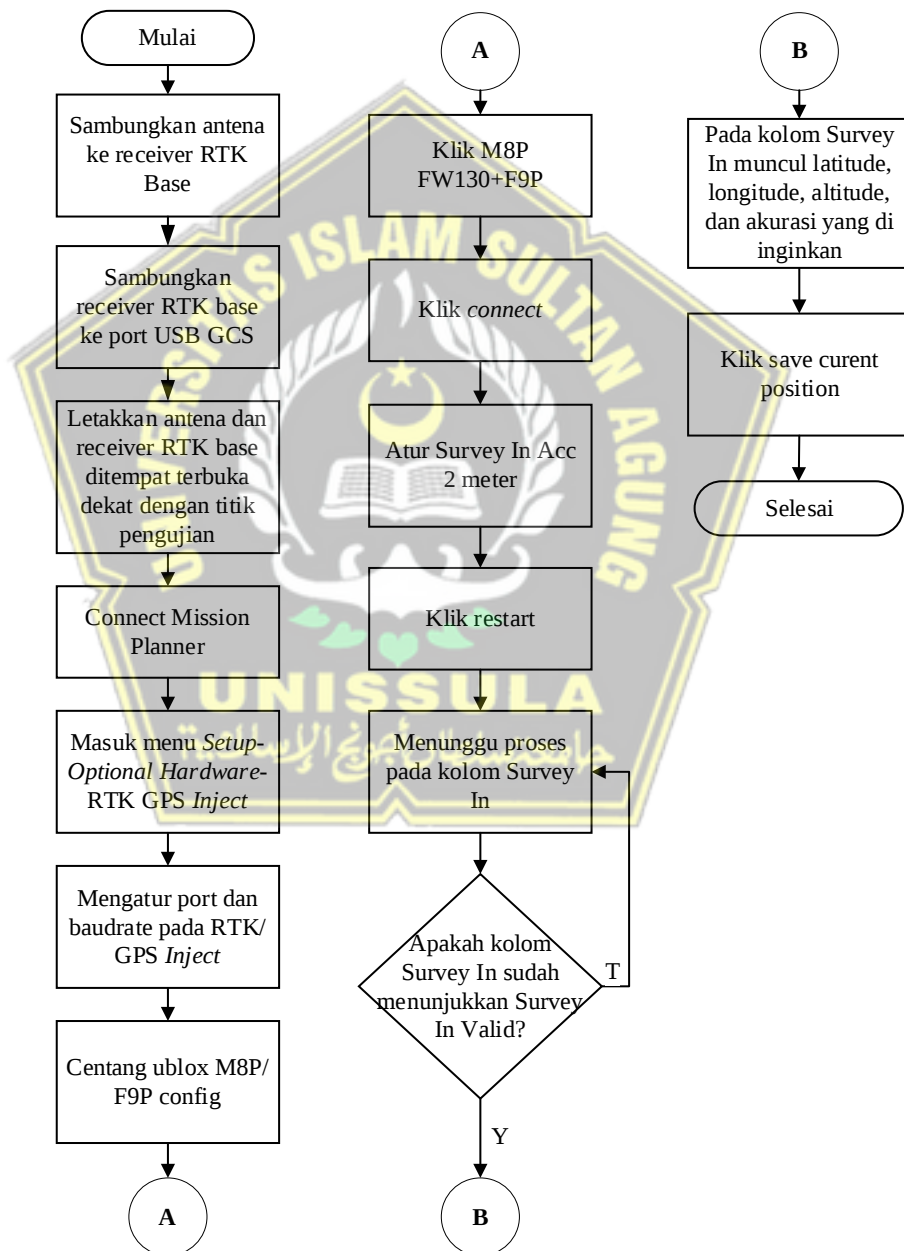


Gambar 3. 12 Mengatur Port komunikasi dan Baudrate pada GCS

3. Instalasi Pixhawk dengan RTK sebelum kalibrasi. Pada tahap ini RTK dihubungkan ke GCS dengan port komunikasi USB.
4. Sebelum memulai pengujian navigasi, ada beberapa sensor dan perangkat yang harus di kalibrasi terlebih dahulu. Sensor yang harus dikalibrasi yaitu sensor akselerometer dan Kompas, sedangkan perangkat yang harus dikalibrasi yaitu radio control dan Here+ RTK. Masing-masing proses kalibrasi adalah sebagai berikut :

a. Kalibrasi Here+ RTK

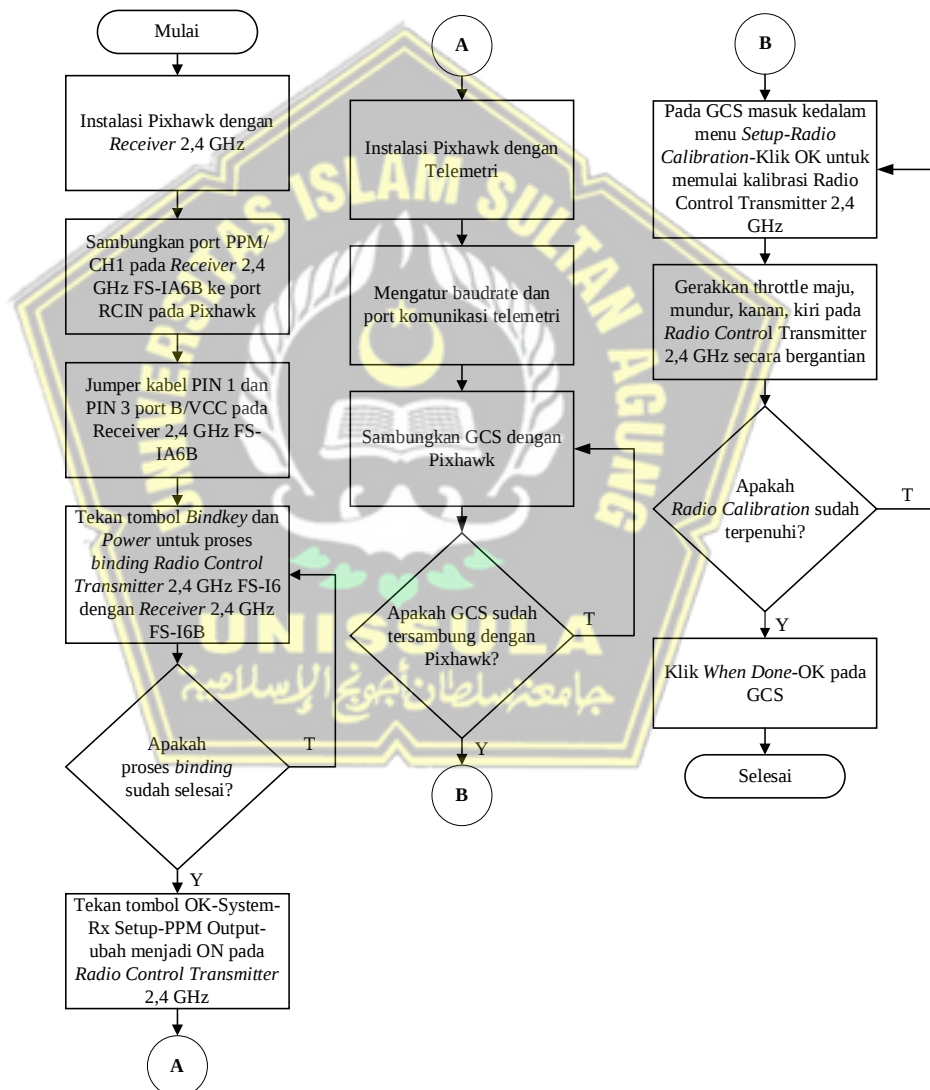
Kalibrasi GPS dengan metode RTK berfungsi untuk mendapatkan akurasi RTK base pada titik referensi statis pada saat melakukan navigasi. RTK base ini yang nantinya akan memperbaiki GPS Here3 dari segi akurasinya. Pada gambar 3.13 akan ditunjukkan flowchart kalibrasi GPS dengan metode RTK.



Gambar 3. 13 Flowchart kalibrasi GPS dengan metodeRTK

b. Kalibrasi Radio control

Kalibrasi radio berfungsi untuk menyambungkan radio control transmitter FS-I6 dengan receiver 2,4 GHz FS-IA6B. Kalibrasi ini juga berfungsi untuk menguji respon motor servo dan motor penggerak pada *firmware* Mission Planner. Gambar 3.14 akan ditunjukkan flowchart kalibrasi radio.



Gambar 3. 14 Kalibrasi radio control

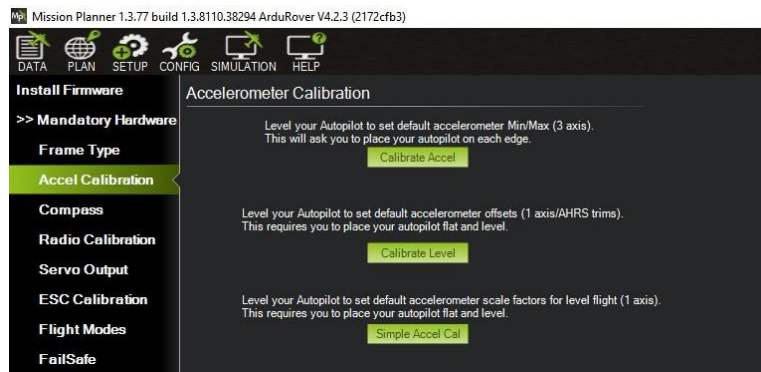
Pada proses kalibrasi radio kontrol ini bertujuan untuk menghubungkan antara *transmitter-receiver* ke Pixhawk 2.1, kalibrasi ini juga bertujuan apakah respon dari kemudi servo dan motor penggerak sudah sesuai dengan *throttle* yang dikendalikan. Kalibrasi *channel* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Channel* 1 untuk kemudi servo dan *Channel* 3 untuk motor penggerak, pada *Channel* 1 ini dikendalikan oleh *transmitter* pada *throttle* bagian kiri, sedangkan pada *Channel* 2 dikendalikan oleh *transmitter* pada *throttle* bagian kanan. Pada tabel 3.5 ditunjukkan masukan *transmitter* dan respon kemudi servo maupun motor penggeraknya.

Tabel 3. 5 Kalibrasi radio kontrol

Kalibrasi	Keterangan
Throttle kiri diarahkan ke Atas	Kemudi servo berbelok ke kiri
Throttle kiri diarahkan ke Bawah	Kemudi servo berbelok ke kanan
Throttle kanan diarahkan ke Atas	Motor penggerak berjalan maju
Throttle kanan diarahkan ke Bawah	Motor penggerak berjalan mundur

c. Kalibrasi sensor akselerometer

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



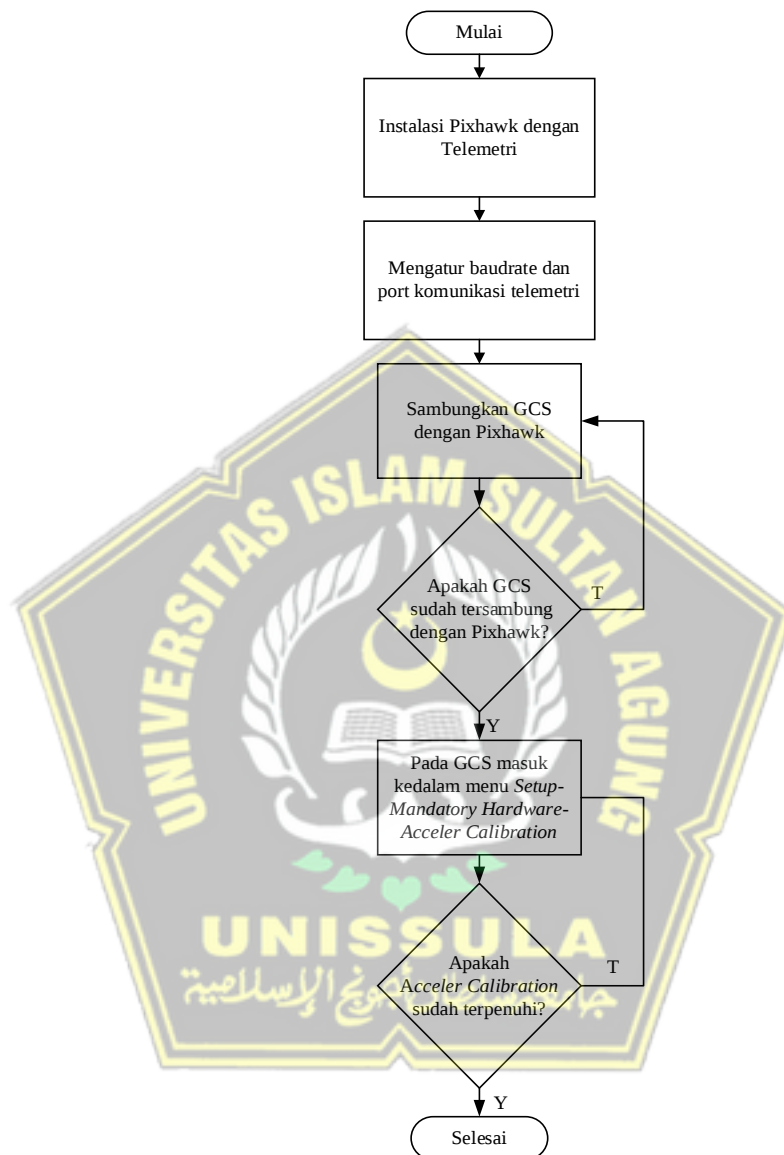
Gambar 3. 15 Menu kalibrasi akselerometer pada software Mission Planner

Tabel 3. 6 Kalibrasi akselerometer

Kalibrasi	Keterangan
Place Vehicle Level	Rover dalam Posisi Normal
Place Vehicle on is Left	Rover dalam Posisi Miring ke Kiri
Place Vehicle on is Right	Rover dalam Posisi Miring ke Kanan
Place Vehicle nose Down	Rover dalam Posisi Menghadap ke Bawah
Place Vehicle nose Up	Rover dalam Posisi Menghadap ke Atas
Place Vehicle on is Back	Rover dalam Posisi Terbalik

Menu kalibrasi akselerometer ditunjukkan pada Gambar 3.15. Proses kalibrasi akselerometer terdiri dari 6 langkah, yang pertama Pixhawk (Rover) dalam posisi normal, posisi normal ini menentukan langkah selanjutnya. Langkah kedua adalah Pixhawk dalam posisi miring kiri. Kemudian, Pixhawk akan dalam posisi miring ke kanan. Kemudian Pixhawk dalam posisi menghadap ke bawah. Selanjutnya Pixhawk (rover) dalam posisi menghadap ke atas. Dan yang terakhir yaitu pixhawk dalam posisi terbalik. Semua langkah yang tercantum dalam Tabel 3.6 dikendalikan oleh program Mission Planner. Tujuan dari proses kalibrasi ini adalah untuk mengetahui apakah posisi rover miring

ke kiri atau miring ke kanan atau terbalik dan sebagainya, hal tersebut akan terlihat di layar laptop.

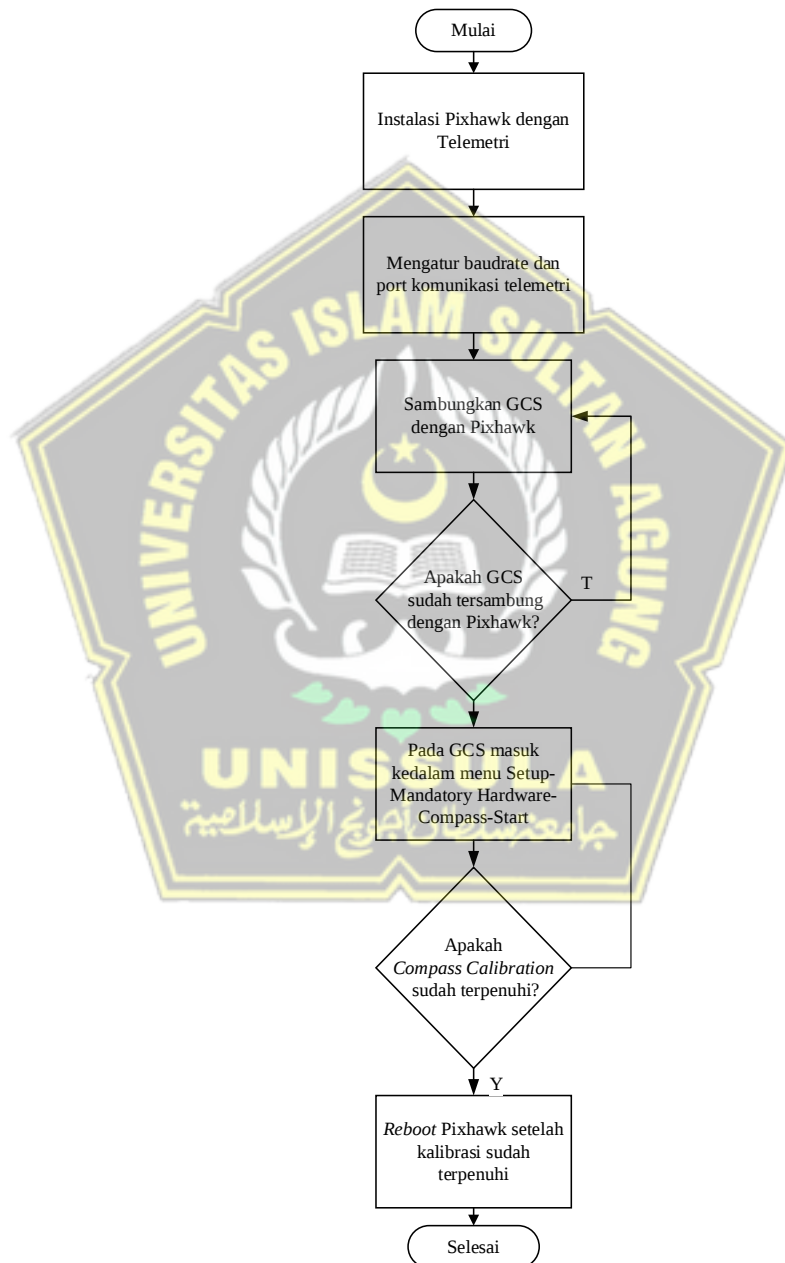


Gambar 3. 16 Flowchart kalibrasi sensor akselerometer

d. Kalibrasi sensor kompas

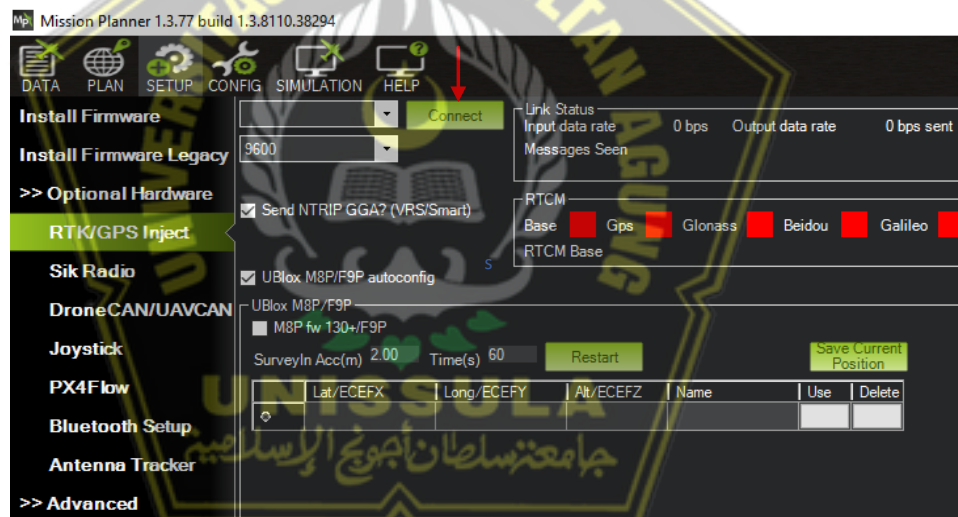
Kalibrasi Kompas berfungsi untuk mengetahui arah kendaraan dilokasi pengujian, agar pada saat sudah dijalankan kendaraan tersebut sudah menghadap arah yang benar. Gambar 3.16 akan ditunjukkan flowchart

kalibrasi. Cara kalibrasi sensor kompas ini adalah dengan cara memutar 90° di berbagai posisi dan terlihat pada tampilan Mission Planner selama proses kalibrasi. Tujuan kalibrasi ini supaya arah rover sesuai dengan yang diinginkan, hal ini dikarenakan tanpa adanya kalibrasi kompas banyak rover yang tidak sesuai arah hadap dan arah jalannya.



Gambar 3. 17 Flowchat kalbrasi sensor Kompas

5. Rover ditempatkan pada titik mulai rute navigasi di titik mulai navigasi pada masing-masing rute, yaitu pada titik nomor 1, kemudian rover dihadapkan ke titik nomor 2 karena sebagai acuan titik yang akan dilewati.
6. *Ground Control Station* harus tersambung dengan Pixhawk untuk memulai navigasi.
7. GPS dengan metode RTK, arsitektur penelitian navigasi yang dilakukan adalah menggunakan RTK GPS Here3 dan GPS Here3. Modul yang digunakan pada RTK Base yaitu Here+ dengan receiver Ublox Neo-M8P. Pada saat pengujian dengan Here+ RTK, maka harus menyambungkannya melalui menu RTK/GPS *Inject* yang terdapat dalam *software Mission Planner* pada *Ground Control Station* yang ditunjukkan pada gambar 3.17.



Gambar 3. 18 Menu RTK/GPS *Inject* pada Mission Planner

8. Rover dikendalikan dengan radio control transmitter Flysky FS-I6 secara manual sesuai urutan rute navigasi yang telah dibuat.
9. *Ground Control Station* dan Pixhawk harus diputuskan sambungannya ketika sudah selesai pengujian, agar data log pengujian dapat diambil.

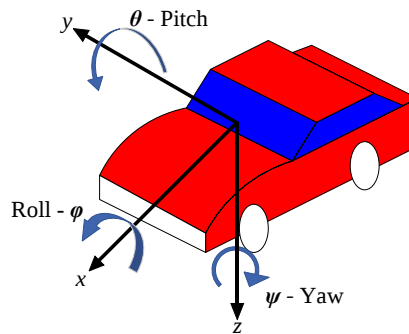
3.6. Pengujian Sensor

Pengujian yang sensor yang digunakan pada saat melakukan tracking navigasi pada masing-masing rute merupakan modul IMU cube pada Pixhawk 2.1 dan GNSS pada modul GPS Here3. Sensor yang diuji pada modul IMU cube yaitu sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer, sedangkan sensor yang diuji pada modul GPS Here3 yaitu receiver Ublox Neo-M8P dan sensor kompas .



Gambar 3. 19 Sensor IMU cube pada Pixhawk 2.1

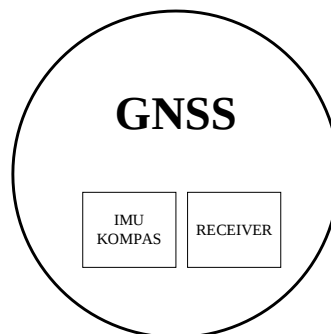
Pada saat melakukan tracking navigasi sesuai rute sensor IMU cube yang terletak pada Pixhawk ditunjukkan pada gambar 3.19 akan didapatkan beberapa data yaitu percepatan pada sensor akselerometer, kecepatan sudut pada sensor giroskop, dan pembacaan *heading* orientasi pada sensor magnetometer. Gambar 3.20 menunjukkan sensor giroskop digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari sudut *Roll* (ϕ), sudut *Pitch* (θ), dan, sudut *Yaw* (ψ). *Roll* merupakan arah rotasi dengan menggunakan poros sumbu koordinat x , *Pitch* merupakan arah rotasi dengan menggunakan poros sumbu koordinat y , dan *Yaw* merupakan arah rotasi dengan menggunakan poros sumbu koordinat z . Kecepatan rotasi adalah perubahan sudut terhadap satuan waktu. akselerometer berfungsi untuk mengukur percepatan dari sebuah benda yang bergerak, seperti satelit, pesawat terbang, atau UAV yang sedang bergerak dengan percepatan tertentu (Wicaksono, Kurniawan and Lasmadi, 2020).



Gambar 3. 20 Koordinat kerangka bodi mobil

Modul GPS Here3 didalamnya terdapat receiver Ublox Neo-M8P dan sensor IMU ICM 20948 yang digunakan sebagai kompas ditunjukkan pada gambar 3.20. Pengujian receiver Ublox Neo-M8P ini bertujuan untuk mendapatkan titik koordinat latitude dan longitude saat melakukan *tracking* navigasi, sedangkan IMU ICM 20948 akan diuji sensor kompasnya untuk menentukan *heading* orientasi pada kendaraan dalam ketentuan koordinat navigasi *North-East-Down* (NED). Pengujian kompas sebagai *heading* orientasi dilakukan saat navigasi rover dijalankan, akan mendapatkan nilai data V_x dan V_y , data tersebut direpresentasikan sebagai arah mata angin sesuai dengan koordinat navigasi NED.

Pengujian receiver Ublox Neo-M8P pada GPS Here3 dilakukan 2 metode, pengujian RTK GPS Here3 dan GPS Here3. RTK GPS Here3 merupakan pengujian GPS dengan metode RTK, sedangkan GPS Here3 merupakan pengujian GPS Here3 tanpa metode RTK. Tujuan menggunakan metode RTK yaitu untuk memperbaiki pelacakan titik koordinat latitude dan longitude yang dihasilkan oleh GPS Here3.



Gambar 3. 21 GNSS integrasi dengan kompas dan receiver

BAB IV

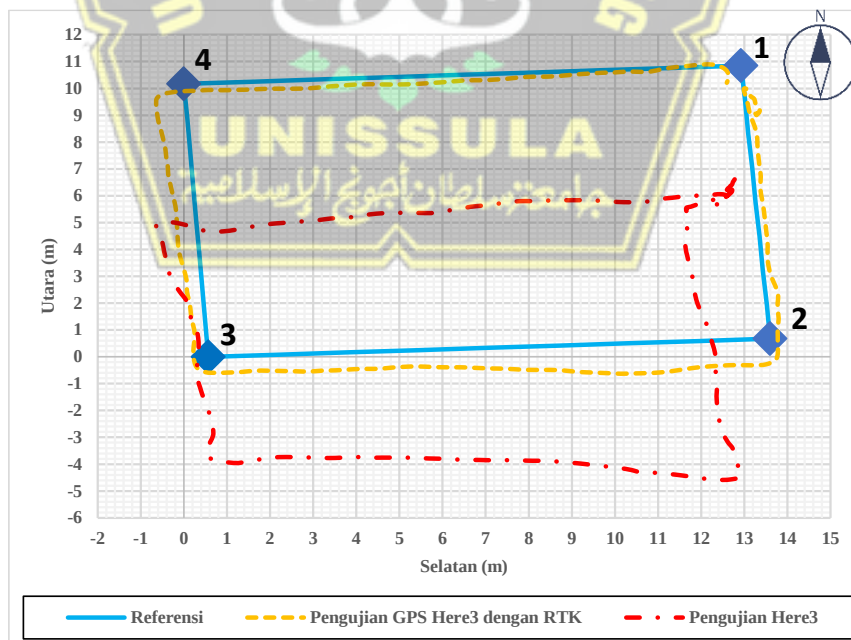
DATA DAN ANALISA

4.1. Integrasi IMU cube dan GNSS

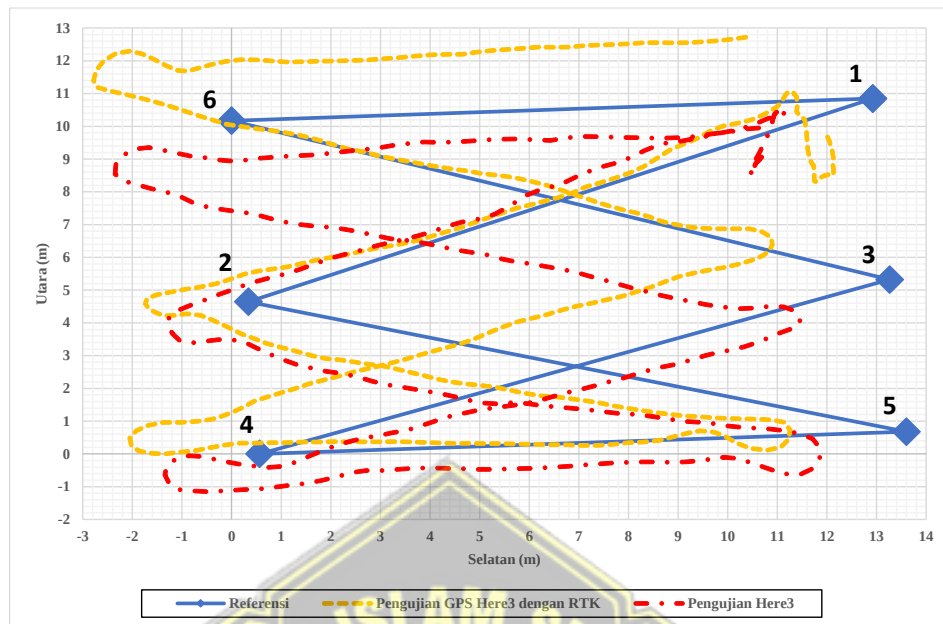
Pada pengujian sistem navigasi rover pada masing-masing rute diuji sebanyak 3 kali, kemudian diambil 1 pengujian terbaiknya. Modul sensor IMU cube pada Pixhawk yang meliputi sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer semua data akan tersimpan didalam log pada GCS (*Ground Control Station*), begitu juga dengan GPS Here3, data receiver Ublox Neo-M8P dan data kompas pada sensor IMU 20948 akan tersimpan didalam log. Modul sensor IMU cube dan modul GNSS akan saling berhubungan ketika melakukan navigasi.

4.2. Pengujian Heading Orientasi

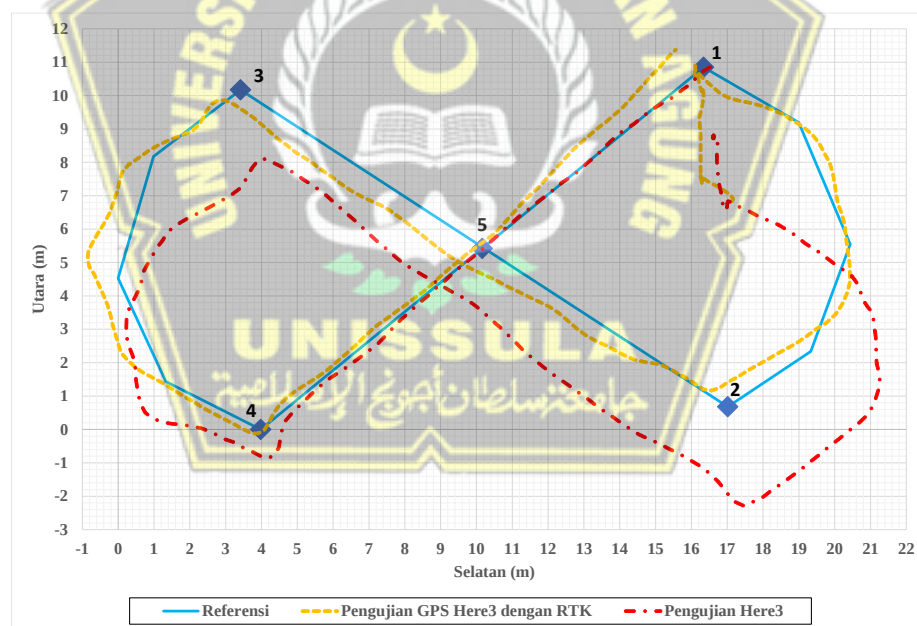
Pengujian ini dilakukan pada modul GPS Here3 dengan menggunakan Ublox Neo-M8P sebagai receiver dan sensor ICM20498 sebagai kompas.



Gambar 4. 1 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute kotak



Gambar 4. 2 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute zigzag

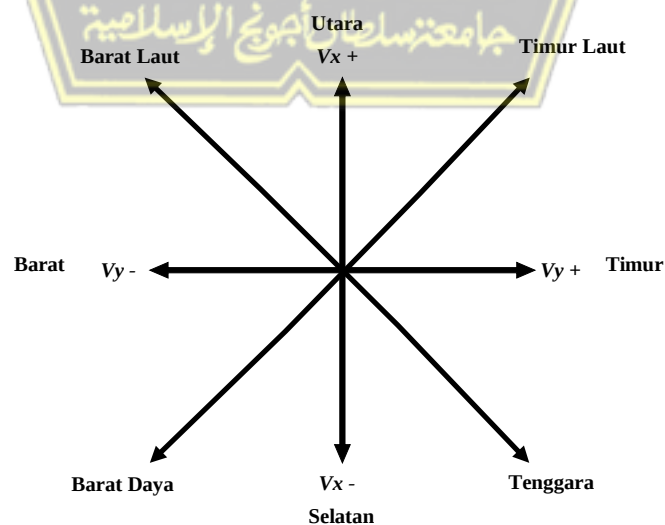


Gambar 4. 3 Grafik hasil pengujian GPS Here3 dengan RTK dan GPS Here3 pada rute angka 8

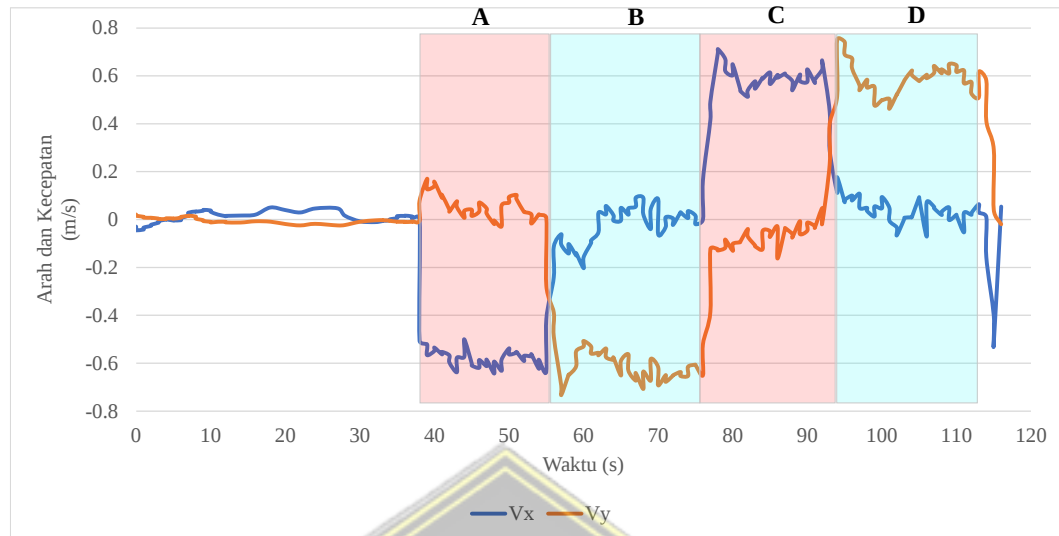
Pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.3 merupakan titik koordinat latitude dan longitude hasil *tracking* navigasi dengan sensor receiver Ublox Neo-M8P yang terdapat pada modul GPS Here3. Warna biru merupakan jalur ideal yang menuju tujuan, warna kuning merupakan jalur yang diambil oleh rover

menggunakan RTK GPS Here3, dan warna merah merupakan jalur yang diambil oleh rover menggunakan GPS Here3. Dapat dilihat dari error jalur hasil *tracking* dengan jalur idealnya, pada rute kotak dan angka 8 modul RTK GPS Here3 menghasilkan data latitude dan longitude yang lebih baik, sedangkan pada rute zigzag modul GPS Here3 menghasilkan data latitude dan longitude lebih baik. Hasil pengujian data tersebut dilakukan dihari yang berbeda sehingga bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu cuaca, pembacaan satelit yang berbeda, hingga keadaan disekitar lokasi pengujian.

Dari data latitude dan longitude hasil *tracking* navigasi menggunakan receiver Ublox Neo-M8P, pada modul GPS Here3 juga terdapat IMU kompas yang menunjukkan *heading* orientasi dengan koordinat navigasi *North-East-Down* (NED). Pada gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.6 grafik heading orientasi terdapat data V_x dan V_y yang merupakan data kecepatan dan arah hadap kendaraan. Dalam ketentuan koordinat navigasi NED maka V_x merupakan sumbu yang menghadap ke Utara ketika bernilai positif dan menghadap ke Selatan ketika bernilai negatif, sedangkan V_y merupakan sumbu yang menghadap ke Timur ketika bernilai positif dan menghadap ke Barat ketika bernilai negatif. Pada gambar 4.4 merupakan arah kompas pada rover saat melakukan *tracking* navigasi berdasarkan koordinat navigasi NED dengan kombinasi V_x dan V_y .



Gambar 4. 4 Arah Kompas berdasarkan Koordinat Navigasi NED



Gambar 4. 5 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute kotak

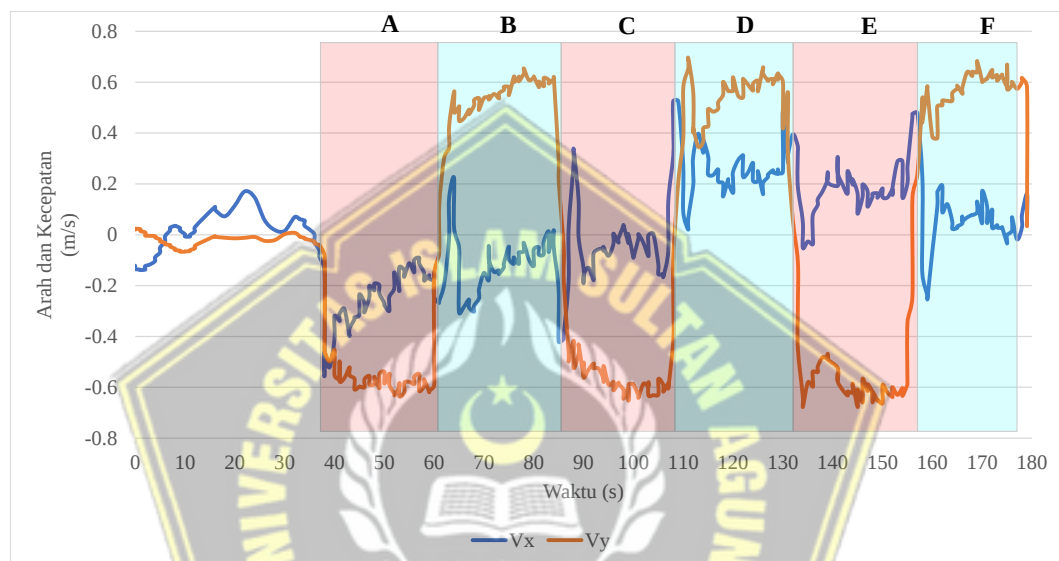
Grafik yang terjadi pada sumbu arah dan kecepatan, nilai yang dihasilkan merupakan nilai kecepatan, sedangkan tanda positif (+) dan negatif (-) merupakan *heading* orientasi pada rover.

Pada gambar 4.5 menunjukkan grafik *heading* orientasi rover pada rute kotak. Rute ini memiliki 4 titik acuan belok sebagai lintasan navigasi rover dan dibagi menjadi 4 area dijelaskan sebagai berikut :

- Area A rover bergerak dari titik 1 start menuju titik 2 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Selatan, karena IMU kompas V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai kecil medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.
- Area B rover bergerak dari titik 2 menuju ke titik 3 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Barat, karena IMU kompas V_y bernilai negatif (-) dan V_x bernilai kecil medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.
- Area C rover bergerak dari titik 3 menuju ke titik 4 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Utara, karena IMU kompas V_x bernilai positif (+) dan V_y bernilai kecil

medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.

- Area D rover bergerak dari titik 4 menuju ke titik 1 awal dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Timur, karena IMU kompas V_y bernilai positif (+) dan V_x bernilai kecil medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.



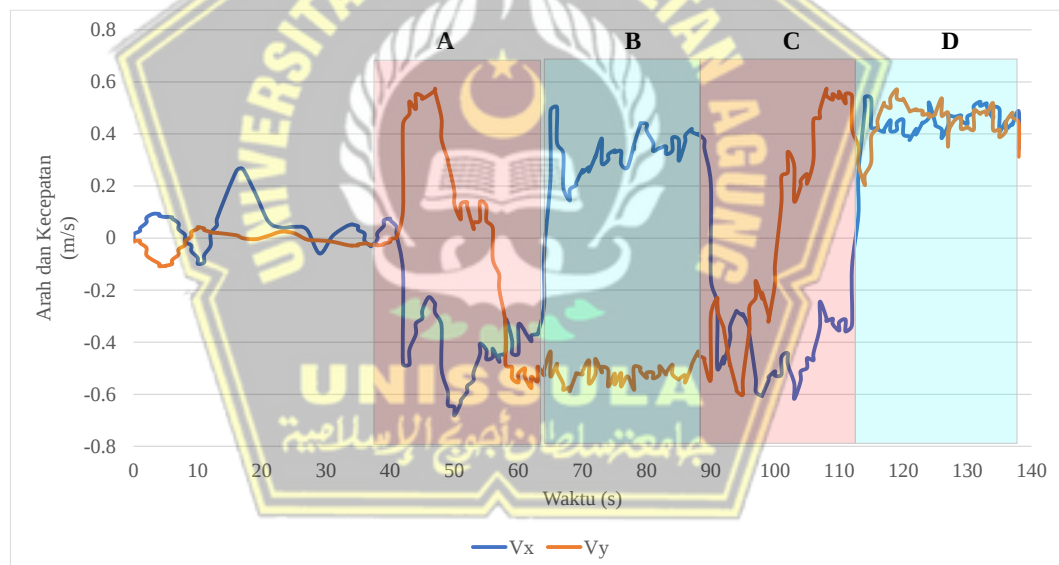
Gambar 4. 6 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute zigzag

Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik heading orientasi rover pada rute zigzag. Rute ini memiliki 6 titik acuan belok sebagai lintasan navigasi rover dan dibagi menjadi 6 area dijelaskan sebagai berikut :

- Area A rover bergerak dari titik 1 start menuju titik 2 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Barat Daya, karena IMU kompas V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai negatif (-).
- Area B rover bergerak dari titik 2 menuju titik 3 dengan menghadap kearah Tenggara berkecepatan 0,6 m/s, karena IMU kompas V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai positif (+).
- Area C rover bergerak dari titik 3 menuju titik 4 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Barat, karena IMU kompas V_y bernilai negatif (-) dan V_x bernilai kecil

medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.

- Area D rover bergerak dari titik 4 menuju titik 5 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Timut Laut, karena IMU kompas V_x bernilai positif (+) dan V_y bernilai positif (+).
- Area E rover bergerak dari titik 5 menuju titik 6 dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Barat Laut, karena IMU kompas V_x bernilai positif (+) dan V_y bernilai negatif (-).
- Area F rover bergerak dari titik 6 menuju titik awal dengan kecepatan 0,6 m/s kearah Timur, karena IMU kompas V_y bernilai positif (+) dan V_x bernilai kecil medekati nol (0) sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap arah pergerakan rover.



Gambar 4. 7 Grafik arah hadap dan kecepatan rover pada rute angka 8

Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik *heading* orientasi rover pada rute zigzag. Rute ini memiliki 5 titik acuan sebagai lintasan navigasi rover dan dibagi menjadi 4 area dijelaskan sebagai berikut :

- Pada area A rover bergerak dari titik 1 awal kearah Tenggara kemudian berbelok kekanan sedikit membentuk setengah lingkaran menuju ke titik 2 kearah Barat Daya, karena IMU kompas pada saat rover bergerak kearah

Tenggara V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai positif (+), sedangkan IMU kompas pada saat rover bergerak ke arah Barat Daya V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai negatif (-).

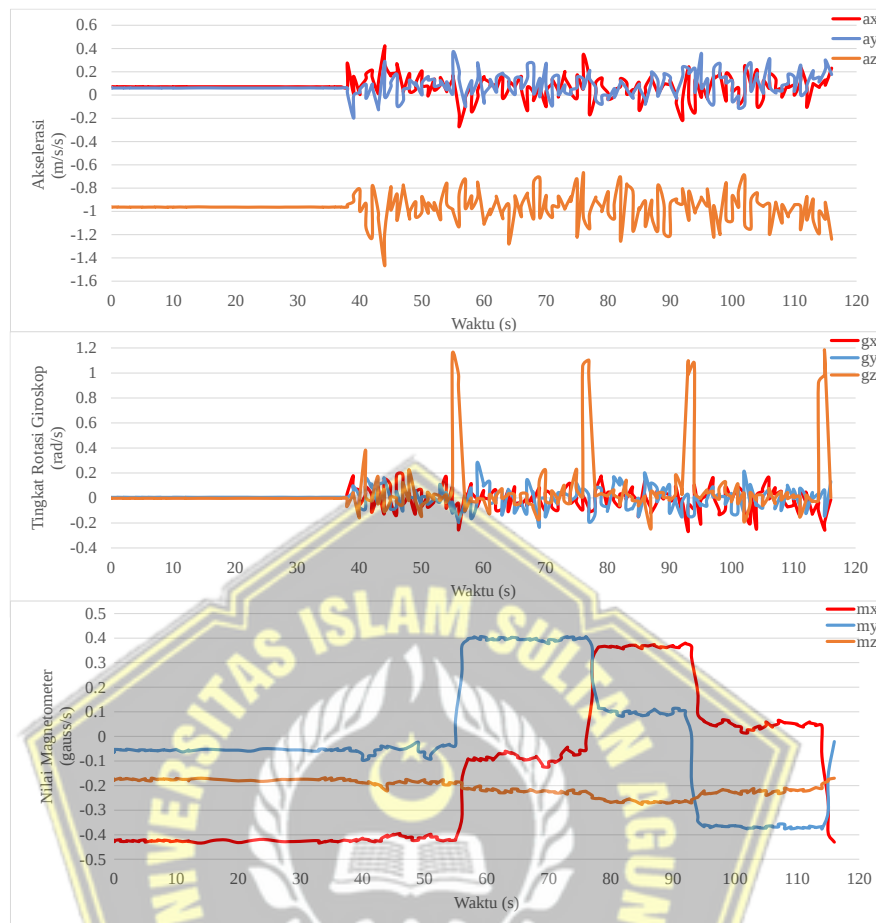
- Area B rover bergerak dari titik 2 menuju titik 3 dengan menghadap ke arah Barat Laut, karena IMU kompas V_x bernilai positif (+) dan V_y bernilai negatif (-).
- Area C rover bergerak dari titik 3 menghadap ke Barat Daya kemudian berbelok ke kiri sedikit membentuk setengah lingkaran menuju ke titik 4 dengan menghadap ke Tenggara, karena IMU kompas pada saat menghadap ke arah Barat Daya V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai negatif (-), sedangkan IMU kompas pada saat menghadap ke arah Tenggara V_x bernilai negatif (-) dan V_y bernilai positif (+).
- Area D rover bergerak dari titik 4 menuju titik 5 dan dilanjutkan ke titik awal dengan menghadap ke arah Timur Laut, karena IMU kompas V_x bernilai positif (+) dan V_y bernilai positif (+).

4.3. Pengujian IMU cube

Pengujian sensor IMU Cube pada Pixhawk 2.1 yang digunakan pada rover dirancang terdiri dari 3 sensor yaitu 3 Axis Akselerometer (a_x, a_y, a_z), 3 Axis Girokop (g_x, g_y, g_z), dan 3 Axis magnetometer (m_x, m_y, m_z). Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui percepatan pada sensor akselerometer, kecepatan rotasi pada sensor girokop, dan arah orientasi sensor magnetometer terhadap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z.

4.3.1. IMU cube pada rute kotak

Gambar grafik data sensor akselerometer, sensor girokop, dan sensor magnetometer dari hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.8. Pengujian IMU terhadap rute kotak ini menghasilkan 205 data dengan rentang waktu 116 detik, data ini merupakan data akselerasi, kecepatan sudut, dan pembacaan arah orientasi.



Gambar 4. 8 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute kotak

Pada grafik akselerometer dapat dilihat bahwa kurva sumbu ax mengalami pertambahan percepatan ketika bernilai positif (+) dan pengurangan percepatan ketika bernilai negatif (-), pengujian ini terlihat pada saat rover melakukan manuver berbelok. Pada detik 39 rover mulai berjalan melakukan navigasi ditandai dengan kurva sumbu ax mengalami kenaikan sampai $0,2 \text{ m/s}^2$. Pada detik ke 56 rover mengalami pengurangan percepatan karena dalam keadaan berbelok dengan penurunan sampai $-0,27 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik ke 60 setelah melewati belokan rover sudah berjalan lurus sehingga mengalami pertambahan percepatan dengan kenaikan sampai $0,14 \text{ m/s}^2$. Detik ke 77 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke kanan dengan nilai $-0,17 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik 88 rover mengalami pertambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,19 \text{ m/s}^2$. Detik ke 92 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke

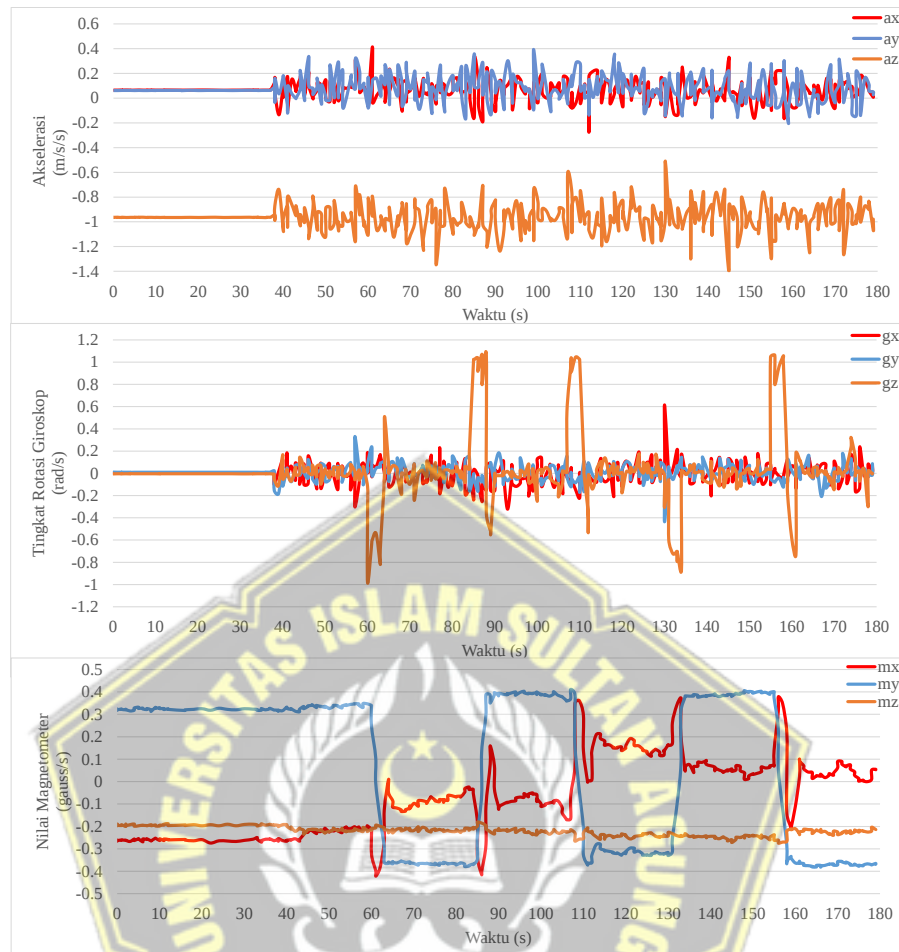
kanan dengan nilai $-0,22 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik 97 rover mengalami pertambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,14 \text{ m/s}^2$.

Pada grafik sensor giroskop dapat merepresentasikan data tingkat kecepatan rotasi sudut gx (*Roll*), gy (*Pitch*), dan gz (*Yaw*) selama *tracking* navigasi rover berjalan dalam satuan rad/s. Kurva kecepatan rotasi dihasilkan dari pergerakan rover pada saat melakukan manuver berbelok. Saat rover melakukan manuver berbelok ke kanan gz bernilai positif (+) dan ketika melakukan manuver berbelok ke kiri gz bernilai negatif (-). Sedangkan saat bodi rover miring ke kanan gx bernilai positif (+) dan ketika bodi rover miring ke kiri gx bernilai negatif. Dapat dilihat pada detik ke 55 rover melakukan manuver berbelok ke kanan kurva sumbu gz mengalami kenaikan sebesar $1,14 \text{ rad/s}$, sedangkan bodi rover miring ke kiri pada kurva sumbu gx mengalami penurunan sebesar $-0,18 \text{ rad/s}$. Detik ke 77 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,1 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kiri dengan nilai gx $-0,1 \text{ rad/s}$. Detik ke 92 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,08 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kiri dengan nilai gx $-0,27 \text{ rad/s}$.

Pada grafik magnetometer dapat merepresentasikan arah hadap rover. Dari hasil data magnetometer, kurva sumbu mx merupakan arah Utara dan Selatan. Pada saat kurva sumbu mx bernilai positif (+) maka rover menghadap ke Utara, sedangkan pada saat kurva sumbu mx bernilai negatif (-) maka rover menghadap ke Selatan. Dapat dilihat bahwa pada awal rover berjalan sampai dengan detik ke 55 kurva sumbu mx bernilai negatif (-) menandakan rover menghadap ke arah Selatan. Pada detik ke 77 sampai detik ke 93 kurva sumbu mx bernilai positif (+) menandakan rover menghadap ke arah Utara.

4.3.2. IMU cube pada rute zigzag

Gambar grafik data sensor akselerometer, sensor giroskop, dan sensor magnetometer dari hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.9. Pengujian IMU terhadap rute kotak ini menghasilkan 332 data dengan rentang waktu 179 detik, data ini merupakan data akselerasi, kecepatan sudut, dan pembacaan arah orientasi.



Gambar 4. 9 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute zigzag

Pada grafik akselerometer dapat dilihat bahwa kurva sumbu ax mengalami pertambahan percepatan ketika bernilai positif (+) dan pengurangan percepatan ketika bernilai negatif (-), pengujian ini terlihat pada saat rover melakukan manuver berbelok. Pada detik 38 rover mulai berjalan melakukan navigasi mengalami sedikit pertambahan percepatan ditandai dengan kurva sumbu ax mengalami kenaikan sampai $0,15 \text{ m/s}^2$, akan tetapi pada detik 39 rover berbelok ke arah serong kanan sehingga mengalami penurunan pada kurva sumbu ax sampai $-0,13 \text{ m/s}^2$. Pada detik 60 rover mengalami pengurangan percepatan ketika berbelok ke kiri dengan nilai $-0,41 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik 61 rover mengalami pertambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,41 \text{ m/s}^2$. Detik ke 85 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke kanan dengan nilai $-0,15 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik 88 rover mengalami pertambahan percepatan karena sudah berjalan lurus

dengan nilai $0,19 \text{ m/s}^2$. Detik ke 112 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke kanan dengan nilai sampai $-0,27 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik ke 114 rover mengalami penambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,22 \text{ m/s}^2$. Detik ke 133 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke dengan nilai $-0,13 \text{ m/s}^2$, tetapi pada detik ke 134 rover mengalami penambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,24 \text{ m/s}^2$. Detik ke 155 rover mengalami pengurangan percepatan karena berbelok ke kanan dengan nilai $-0,1 \text{ m/s/s}$, tetapi pada detik ke 161 rover mengalami penambahan percepatan karena sudah berjalan lurus dengan nilai $0,09 \text{ m/s}^2$.

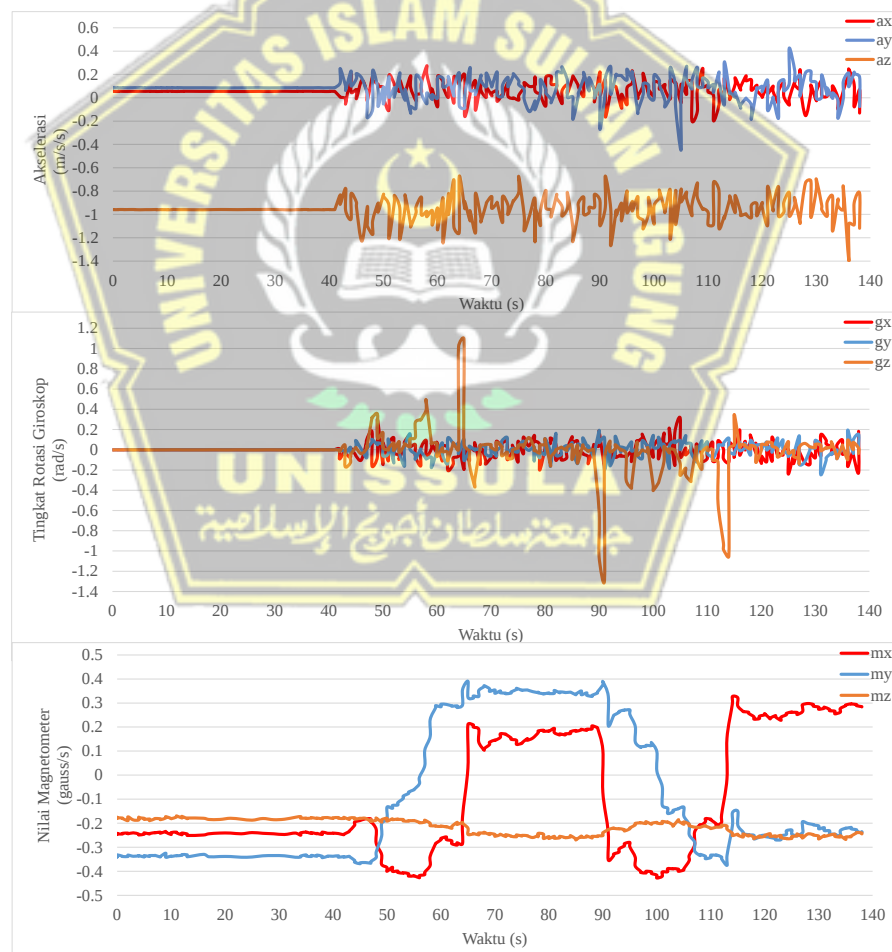
Pada grafik sensor giroskop dapat merepresentasikan data tingkat kecepatan rotasi sudut gx (*Roll*), gy (*Pitch*), dan gz (*Yaw*) selama *tracking* navigasi rover berjalan dalam satuan rad/s. Kurva kecepatan rotasi dihasilkan dari pergerakan rover pada saat melakukan manuver berbelok. Saat rover melakukan manuver berbelok ke kanan gz bernilai positif (+) dan ketika melakukan manuver berbelok ke kiri gz bernilai negatif (-). Sedangkan saat bodi rover miring ke kanan gx bernilai positif (+) dan ketika bodi rover miring ke kiri gx bernilai negatif. Dapat dilihat pada detik ke 60 kurva sumbu gz mengalami penurunan sebesar $0,98 \text{ rad/s}$ menunjukkan rover melakukan manuver berbelok ke kiri, sedangkan pada kurva sumbu gx mengalami penurunan sebesar $0,18 \text{ rad/s}$ menunjukkan bodi rover mengalami kemiringan ke kanan pada saat rover melakukan manuver berbelok ke kiri. Pada detik ke 86 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,03 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kiri dengan nilai gx $-0,11 \text{ rad/s}$. Detik ke 110 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,02 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kiri dengan nilai gx $-0,16 \text{ rad/s}$. Detik ke 134 rover berbelok ke kiri dengan nilai gz $-0,87 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kanan dengan nilai gx $0,17 \text{ rad/s}$. Pada detik ke 159 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,02 \text{ rad/s}$ dan bodi rover miring ke kiri dengan nilai $-0,17 \text{ rad/s}$.

Pada grafik magnetometer dapat merepresentasikan arah hadap rover. Dari hasil data magnetometer pengujian navigasi rute zigzag, kurva sumbu mx merupakan arah Utara dan Selatan. Pada saat kurva sumbu mx bernilai positif (+) maka rover menghadap ke Utara, sedangkan pada saat kurva sumbu mx bernilai negatif (-) maka

rover menghadap ke Selatan. Dapat dilihat bahwa pada awal rover berjalan sampai dengan detik ke 109 kurva sumbu m_x bernilai negatif (-) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Selatan. Pada detik ke 109 sampai selesai kurva sumbu m_x bernilai positif (+) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Utara.

4.3.3. IMU cube pada rute angka 8

Gambar grafik data sensor akselerometer, sensor giroskop, dan sensor magnetometer dari hasil percobaan dapat dilihat pada gambar 4.10. Pengujian IMU terhadap rute kotak ini menghasilkan 250 data dengan rentang waktu 138 detik, data ini merupakan data akselerasi, kecepatan sudut, dan pembacaan arah orientasi.



Gambar 4. 10 Grafik data sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer pada rute angka 8

Pada grafik akselerometer dapat dilihat bahwa kurva sumbu ax mengalami pertambahan percepatan ketika bernilai positif (+) dan pengurangan percepatan ketika bernilai negatif (-), pengujian ini terlihat pada saat rover melakukan manuver berbelok. Pada detik ke 44 rover mulai berjalan melakukan navigasi mengalami pertambahan percepatan ditandai dengan kurva sumbu ax mengalami kenaikan sampai 0.2 m/s^2 . Pada detik ke 51 sampai dengan detik ke 65 rover mengalami pengurangan percepatan ketika berbelok ke kanan dengan nilai $-0,15 \text{ m/s}^2$. Kemudian pada detik ke 68 rover mengalami pertambahan percepatan ketika mulai berjalan lurus dengan nilai $0,13 \text{ m/s}^2$. Pada detik ke 91 sampai dengan detik ke 116 rover mengalami pengurangan percepatan ketika berbelok ke kiri dengan nilai $-0,19 \text{ m/s}^2$. Pada detik 117 rover mengalami pertambahan percepatan ketika sudah mulai berjalan lurus dengan nilai $0,18 \text{ m/s}^2$.

Pada grafik sensor giroskop dapat merepresentasikan data tingkat kecepatan rotasi sudut gx (*Roll*), gy (*Pitch*), dan gz (*Yaw*) selama *tracking* navigasi rover berjalan dalam satuan rad/s. Kurva kecepatan rotasi dihasilkan dari pergerakan rover pada saat melakukan manuver berbelok. Saat rover melakukan manuver berbelok ke kanan gz bernilai positif (+) dan ketika melakukan manuver berbelok ke kiri gz bernilai negatif (-). Sedangkan saat bodi rover miring ke kanan gx bernilai positif (+) dan ketika bodi rover miring ke kiri gx bernilai negatif. Rover berbelok ke serong kanan membentuk setengah lingkaran dengan bodi mobil miring ke kiri pada detik ke 49 nilai gz $0,35 \text{ rad/s}$ dan nilai gx $-0,16 \text{ rad/s}$ sampai detik ke 58 nilai gz $0,48$ dan nilai gx $-0,16 \text{ rad/s}$. Pada detik ke 65 rover berbelok ke kanan dengan nilai gz $1,09 \text{ rad/s}$ dan bodi mobil miring ke kiri dengan nilai gx $-0,19 \text{ rad/s}$. Pada detik ke 91 rover berbelok ke kiri dengan nilai gz $-1,28 \text{ rad/s}$ dan bodi mobil miring ke kanan dengan nilai gx $0,18 \text{ rad/s}$. Rover berbelok ke serong kiri membentuk setengah lingkaran dengan bodi mobil miring ke kanan pada detik ke 96 nilai gz $-0,38 \text{ rad/s}$ dan nilai gx $0,06 \text{ rad/s}$ sampai detik 107 nilai gz $-0,31$ dan nilai gx $0,02 \text{ rad/s}$. Pada detik ke 114 rover berbelok ke kiri dengan nilai gz $-1,05 \text{ rad/s}$ dan bodi mobil miring ke kanan dengan nilai gx $0,06 \text{ rad/s}$.

Pada grafik magnetometer dapat merepresentasikan arah hadap rover. Dari hasil data magnetometer pengujian navigasi rute angka 8, kurva sumbu m_x merupakan arah Utara dan Selatan. Pada saat kurva sumbu m_x bernilai positif (+) maka rover menghadap ke Utara, sedangkan pada saat kurva sumbu m_x bernilai negatif (-) maka rover menghadap ke Selatan. Dapat dilihat bahwa pada awal rover berjalan sampai dengan detik ke 65 kurva sumbu m_x bernilai negatif (-) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Selatan. Pada detik ke 66 sampai dengan detik ke 90 kurva sumbu m_x bernilai positif (+) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Utara. Pada detik ke 91 sampai dengan 113 kurva sumbu m_x bernilai negatif (-) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Selatan. Kemudian pada detik ke 114 sampai dengan selesai kurva sumbu m_x bernilai positif (+) menandakan rover cenderung menghadap ke arah Utara.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian sistem, serta pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengujian receiver Ublox Neo-M8P pada 3 rute *tracking* navigasi menunjukkan track rute yang paling mendekati referensi yaitu rute kotak.
2. Modul yang paling bagus untuk menentukan navigasi yaitu modul RTK GPS Here3 dan IMU.
3. Berdasarkan hasil pengujian sensor IMU kompas pada modul GPS Here3 memiliki pembacaan arah orientasi hadap sesuai dengan *track* navigasi menggunakan metode koordinat navigasi *North East Down* (NED).
4. Kinerja sensor IMU Pixhawk terlihat pada saat berbelok dan sudah sesuai dengan *track* navigasi yang ditempuh.

5.2. Saran

Saran dari hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Dapat dikembangkan menggunakan dual GPS pada Pixhawk 2.1.
2. Pada saat melakukan pengujian sebisa mungkin dilakukan pada hari yang sama, agar pembacaan satelit pada GPS dan kondisi lapangan pada saat pengujian tidak jauh berbeda hasilnya.
3. Dikembangkan dengan *flight controller* lain atau ditambah dengan perangkat lain agar pembacaan navigasi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. R., Rusidinar, A. and R, M. R. (2022) 'Sistem Otomasi Landing Dan Waypoint Pada Drone Pemantauan Kualitas Air Sungai Citarum', *eProceedings of Engineering*, 9(2), pp. 249–256.
- Alfiandy, Suprayogi and F, N. (2021) 'Iot (Internet of Things) Navigasi Drone Berdasarkan Waypoint Iot (Internet of Things) Navigation Drone Based on Waypoint', *e-Proceeding of Engineering*, 8(2), pp. 1–8.
- Ardiansyah, A. (2018) *Perancangan Inertial Navigation System Menggunakan Inertial Measurement Unit 10 Dof Pada Diver Propulsion Vehicle*.
- Camomilla, V. *et al.* (2018) 'Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation: A systematic review', *Sensors (Switzerland)*, 18(3). doi: 10.3390/s18030873.
- CubePilot (2022) *Here 3 Manual*. Available at: <https://docs.cubepilot.org/user-guides/here-3/here-3-manual> (Accessed: 27 September 2022).
- Firdaus, F. and Ismail, I. (2020) 'Komparasi Akurasi Global Position System (GPS) Receiver U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi Quadcopter', *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 12(1), pp. 12–15. doi: 10.30630/eji.12.1.137.
- InvenSense (2016) 'MPU-9250 Product Specification Revision 1.1', *Veterinarno-meditsinski nauki*, 24(3), pp. 78–81. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3303658>.
- Irfan, M. and Haryanto, D. (2020) 'Model Sistem Navigasi Inersial: Sebuah Tinjauan Model Of Inertial Navigation System : A Review', *Oceanika: Jurnal Riset dan Rekayasa Kelautan*, 1(Juni).
- Junan, Y., Poekoel, V. C. and Putro, M. D. (2018) 'Rancang Bangun Robot Bawah Air', *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (Universitas Sam Ratulangi Manado)*, 7(1), pp. 1–8.

Khosyi'in, M. *et al.* (2021) 'Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1', *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2021-Octob(October), pp. 175–180. doi: 10.23919/EECSI53397.2021.9624244.

Marbawi, M., Yuwono, B. D. and Sudarsono, B. (2015) 'Analisis Pengukuran Bidang Tanah Menggunakan Gnss Rtk-Radio Dan Rtk-Ntrip Pada Stasiun Cors Undip', *Jurnal Geodesi Undip*, 4, pp. 297–306.

Mulyono, M. A. (2019) 'Simulasi Alat Penjaring Ikan Otomatis Dengan Penggerak Motor Servo Continuous, Sensor Jarak Hc-Sr04 Dan Tombol, Menggunakan Arduino Mega', 12(1).

Novriditiyo, B., Sugiri and Nurcahyo, A. (2021) 'Pengaplikasian Sensor Jarak Ultrasonik Hc-Sr04 Pada Drone Quadcopter F330', *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(2), pp. 216–225. doi: 10.56521/teknika.v7i2.322.

Nugraha, S. (2019) 'Sistem Kendali Navigasi Robot Manual', *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 5(1.1), p. 91. doi: 10.24036/jtev.v5i1.1.106153.

Nugroho, S., Suratman, F. Y. and Nugraha, R. (2016) 'Sistem Navigasi Gerak RoboBot Berdasarkan Gps Menggunakan Metode Waypoint', 3(2), pp. 1453–1461.

PX4 Autopilot (2022) *Hex Cube Black Flight Controller*. Available at: https://docs.px4.io/main/en/flight_controller/pixhawk-2.html (Accessed: 26 September 2022).

Rumpa, A. *et al.* (2020) 'Pemanfaatan Aplikasi Google Earth Untuk Evaluasi Perbedaan Koordinat Dan Tampilan Peta GPS Yang Digunakan Nelayan di Teluk Bone', *Jurnal Salamata*, 2(1), pp. 28–35.

Sandi, B. Y., Kurniawan, F. and Lasmadi, L. (2020) 'Estimasi Sudut Orientasi Rigid Body Dengan Menggunakan Sensor IMU (Inertial Measurement Unit) Dan Magnetometer', *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 6, pp. 283–294. doi: 10.28989/senatik.v6i0.425.

Wahyono, E. budi and Subroto, M. A. (2019) *Kata Pengantar, JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. doi: 10.24912/jmts.v2i2.8798.

Wicaksono, M. A. R., Kurniawan, F. and Lasmadi, L. (2020) 'Kalman Filter to Reduce Accelerometer Sensor Noise on IMU for Distance Estimation', *Avitec*, 2(2), pp. 145–159.

