

Pengukuran Kecepatan Menggunakan Sensor GNSS

Mochammad Yusril Artato, Muhammad Khosyi'in, Munaf Ismail

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung

Correspondence Author: chosyi@unissula.ac.id

Abstract

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

Kata kunci : GNSS, GPS, Pengukur Kecepatan, Haversine

1. PENDAHULUAN

GPS (Global Positioning System) adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan. Saat ini GPS sudah banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi, kecepatan, percepatan ataupun waktu yang teliti. GPS dapat memberikan informasi posisi dengan ketelitian bervariasi dari beberapa millimeter (orde nol) sampai dengan puluhan meter [1]. GPS dalam penggunaan sistem navigasi data geografis real-time dari beberapa satelit GPS untuk menghitung bujur, lintang, kecepatan, dan arah membantu navigasi mobil [2].

Kendaraan otonom adalah kendaraan yang dapat dioperasikan aman dan efektif tanpa harus dikendalikan oleh manusia. Kendaraan ini terdiri dari integrasi sistem yang bekerja sama untuk menghubungkan kendaraan melalui lingkungan, salah satu sistem yang paling penting adalah sensor [3]. Kendaraan otonom memerlukan sistem navigasi yang handal dalam pergerakannya. Dan dalam sistem navigasi yang handal, akurasi pembacaan kecepatan merupakan hal yang sangat penting karena adanya peraturan tersebut.

Kecepatan kendaraan adalah rata-rata jarak yang dapat ditempuh suatu kendaraan pada suatu ruas jalan dalam satu satuan waktu tertentu. Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor manusia, kendaraan dan prasarana, serta dipengaruhi pula oleh arus lalu lintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam sekitarnya. Dengan didapatnya waktu perjalanan dan jarak perjalanan maka kecepatan perjalanan dan kecepatan bergerak akan didapat [4]. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.111 Tahun 2015 Tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan. Paling rendah 60 (enam puluh) kilometer per jam

dalam kondisi arus bebas dan paling tinggi 100 (seratus) kilometer per jam untuk jalan bebas hambatan, paling tinggi 80 (delapan puluh) kilometer per jam untuk jalan antarkota, paling tinggi 50 (lima puluh) kilometer per jam untuk kawasan perkotaan, dan paling tinggi 30 (tiga puluh) kilometer per jam untuk kawasan permukiman [5].

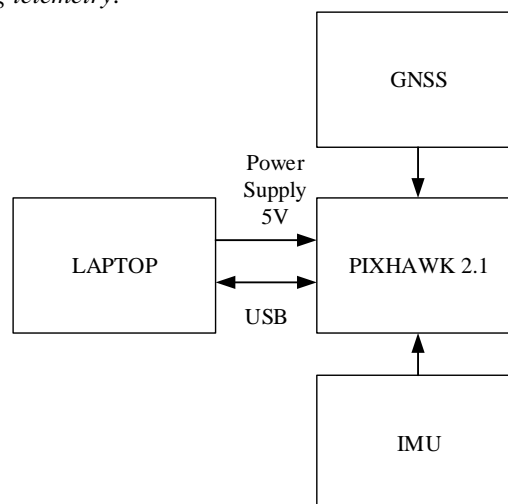
Pengendali terbang Cube Black (dikenal sebagai Pixhawk 2.1) adalah perangkat autopilot fleksibel yang ditujukan terutama untuk produsen sistem komersial. Perangkat didasarkan pada desain perangkat keras terbuka dari proyek Pixhawk FMUv3 dan menjalankan PX4 pada sistem operasi NuttX. Pengendali dirancang untuk dapat digunakan dengan wadah perangkat desain khusus supaya mengurangi pengkabelan yang rumit, meningkatkan keandalan, dan memudahkan perakitan [6]. HERE2 GNSS adalah produk perangkat navigasi buatan perusahaan HEX/PROFICNC yang telah ditingkatkan kemampuannya secara menyeluruh dari produk generasi sebelumnya sehingga cocok digunakan pada produk-produk keluaran industri yang membutuhkan persyaratan keamanan dan keandalan yang lebih tinggi seperti misi otonom jarak jauh luar ruangan, pemeriksaan keamanan, pengawasan tanaman pertanian, dan lain-lain. Dengan arsitektur dan kode berupa perangkat *open source* cocok bagi pengembang yang membutuhkan fungsi navigasi secara khusus dan mengembangkan secara mendalam berdasarkan fitur-fitur navigasi yang tersedia [7]. GPS Here3 merupakan sistem GNSS dengan kepresisian tinggi, yang juga mendukung mode navigasi RTK dan dibangun dengan protokol CAN. 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 [8].

Haversine Formula merupakan metode untuk mengetahui jarak antar dua titik dengan memperhitungkan bahwa bumi bukanlah sebuah bidang datar namun adalah sebuah bidang yang memiliki derajat kelengkungan. Metode Haversine Formula menghitung jarak antara 2 titik dengan berdasarkan panjang garis lurus antara 2 titik pada garis bujur dan lintang [9][10].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di tempat yang sedikit halangan dan banyak halangan yaitu di Madukoro Raya dan Marina Raya. Penelitian ini menggunakan Cube Black Pixhawk 2.1 dengan GPS Here 2 dan GPS Here 3, Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi kecepatan yaitu 10,20,30,40, dan 50 km/h dan dilakukan sebanyak 3 kali tiap variasi kecepatan pengambilan data.

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



Gambar 1. Blok diagram

Laptop terpasang perangkat lunak Mission Planner sebagai masukan catu daya bagi perangkat Cube Black (Pixhawk 2.1). GPS Here2 dan Here3 GNSS yang di dalamnya terdapat modul u-blox NEO-M8N dan u-blox NEO-M8P berfungsi untuk mendapatkan data titik-titik koordinat, Dan juga mendapatkan data kecepatan, dimana data-data tersebut nantinya akan ditampilkan dan dapat diolah menggunakan perangkat

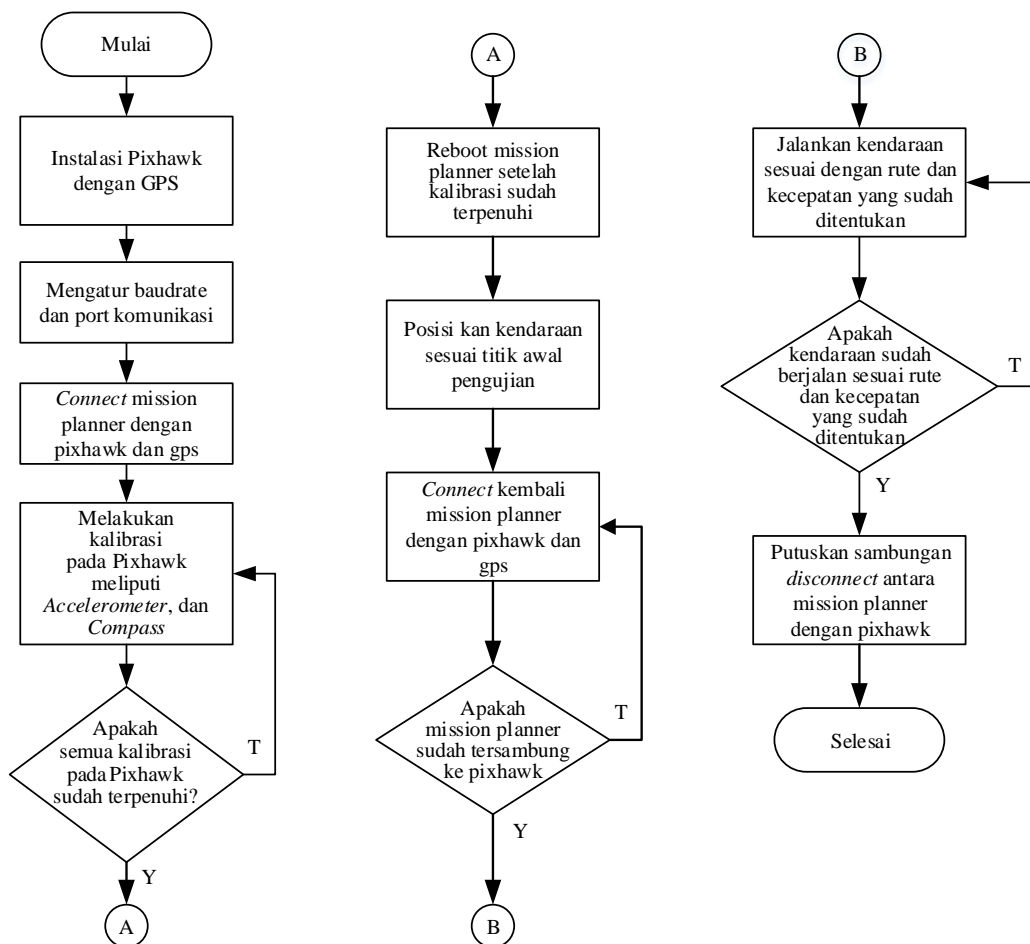
lunak Mision Planner melalui Cube Black (Pixhawk 2.1). Cube Black (Pixhawk 2.1) dilengkapi dengan chip penyimpanan microSD sehingga data-data dari HERE2 GNSS dapat tersimpan sebagai log-log berkas.

Perancangan hardware pada pengujian kecepatan dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 2. Perancangan Hardware

Pengujian kecepatan pada penelitian ini dapat dilihat pada flowchart dan penjelasannya sebagai berikut:



Gambar 3. Flowchart pengujian system

Pada awal pengujian melakukan instalasi Pixhawk 2.1 dengan GPS. Setelah terinstalasi pixhawk dengan GPS selanjutnya membuka *software* Mission Planner kemudian harus mengatur *baudrate* dan *port* komunikasi yang ditunjukkan pada gambar. *Baudrate* adalah kecepatan data yang dikirim melalui komunikasi serial, sedangkan *port* komunikasi yaitu untuk mengatur *port* komunikasi. Jika sudah sesuai bisa diklik *connect*. Pada proses *connect* tersebut artinya Mission Planner sedang menyambungkan ke *controller* Pixhawk 2.1. Apabila sudah selesai proses *connect* maka (Mission Planner) sudah terhubung ke *controller*. Sebelum memulai pengujian kecepatan, ada beberapa sensor dan perangkat yang harus dikalibrasi terlebih dahulu. Sensor yang harus dikalibrasi yaitu sensor akselerometer dan Kompas. Setelah semuanya terkalibrasi, kendaraan ditempatkan pada titik mulai rute pengujian kecepatan, Kendaraan bergerak sesuai dengan rute yang sudah ditentukan dan dengan kecepatan yang sudah ditentukan. Setelah sampai di titik akhir pengujian, putuskan sambungan Pixhawk dengan GPS dengan mengklik *disconnect* agar mission planner dapat menyimpan data *log* pengujian. Dan lakukan pengujian ini diulang dengan alur yang sama untuk jenis GPS yang berbeda yaitu GPS HERE 2 dan GPS HERE 3.

3. HASIL DAN ANALISA

3.1. Hasil Pengujian di Madukoro Raya

Tabel 1 Hasil Rata Rata Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

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

Berdasarkan tabel 1 dilakukan perhitungan akurasi kecepatan IMU dan GNSS sebagai berikut:

- Menghitung error kecepatan IMU

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

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

$$= 0,03 \%$$

- Menghitung akurasi kecepatan IMU

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

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

$$= 99,97\%$$

- Menghitung rata rata akurasi kecepatan IMU

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

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

$$= 99,05\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan rata rata kecepatan IMU dan GNSS didapatkan hasil akurasi dan rata rata kecepatan IMU dan GNSS pada tabel berikut:

Tabel 2 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 2 (%)			Akurasi GNSS Here 2 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
10	97.97%	98.88%	98.80%	99.14%	99.86%	99.80%	98.55%	99.60%
20	99.81%	99.28%	99.40%	98.73%	99.95%	99.90%	99.50%	99.53%
30	99.77%	99.36%	99.70%	98.53%	99.91%	99.97%	99.61%	99.47%
40	99.52%	99.29%	99.55%	98.86%	99.76%	99.80%	99.46%	99.47%
50	99.97%	97.72%	99.45%	99.93%	97.86%	99.96%	99.05%	99.25%

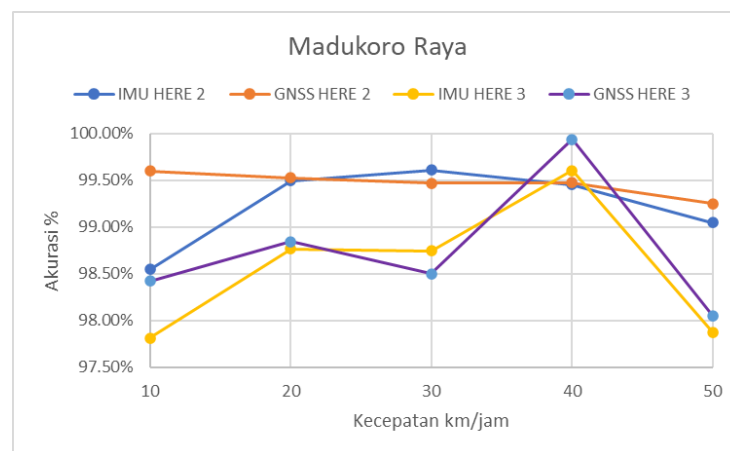
Tabel 3 Hasil Rata Rata Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

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

Tabel 4 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 3 (%)			Akurasi GNSS Here 3 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
	1	2	3	1	2	3		
10	96.11%	98.03%	99.30%	98.95%	97.02%	99.29%	97.81%	98.42%
20	97.26%	99.66%	99.38%	98.68%	98.99%	98.87%	98.77%	98.85%
30	97.73%	98.64%	99.87%	96.52%	99.18%	99.81%	98.75%	98.50%
40	99.42%	99.59%	99.81%	99.93%	99.95%	99.94%	99.61%	99.94%
50	99.03%	98.15%	96.45%	98.93%	98.29%	96.94%	97.88%	98.05%

3.2. Grafik dan Analisa Pengujian di Madukoro Raya



Gambar 4. Grafik pengujian di Madukoro Raya

Pada gambar 4 menjelaskan tentang hasil pengujian di Madukoro Raya. Grafik dengan warna biru menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 2, warna orange menunjukkan hasil dari rata rata akurasi GNSS HERE 2, warna kuning menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 3, dan warna ungu menunjukkan hasil rata rata akurasi GNSS HERE 3.

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

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

Pada gambar 4 juga menunjukkan nilai akurasi dari GNSS HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 50 km/jam nilai akurasi GNSS HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

3.3. Hasil Pengujian di Marina Raya

Tabel 5 Hasil Rata Rata Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

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

Berdasarkan tabel 5 dilakukan perhitungan akurasi kecepatan IMU dan GNSS sebagai berikut:v

- Menghitung error kecepatan IMU

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

- Menghitung akurasi kecepatan IMU

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

- Menghitung rata rata akurasi kecepatan IMU

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

Berdasarkan hasil perhitungan rata rata kecepatan IMU dan GNSS didapatkan hasil akurasi dan rata rata kecepatan IMU dan GNSS pada tabel berikut:

Tabel 6 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 2

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

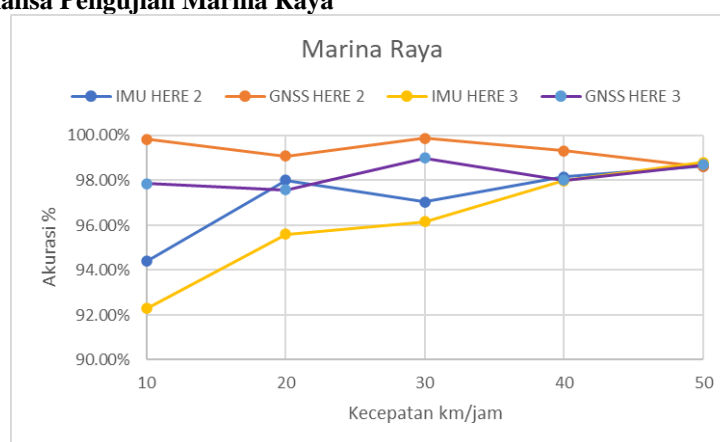
Tabel 7 Hasil Rata Rata Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

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

Tabel 8 Hasil Perhitungan Akurasi Kecepatan IMU dan GNSS Here 3

Kecepatan (km/jam)	Akurasi IMU Here 3 (%)			Akurasi GNSS Here 3 (%)			Rata Rata IMU (%)	Rata Rata GNSS (%)
10	92.58%	91.64%	92.66%	99.55%	97.68%	96.32%	92.29%	97.85%
20	96.22%	95.35%	95.22%	98.16%	98.91%	95.67%	95.60%	97.58%
30	96.71%	95.71%	96.08%	99.85%	99.24%	97.90%	96.17%	99.00%
40	98.82%	97.46%	97.68%	98.44%	99.01%	96.59%	97.99%	98.02%
50	99.15%	98.49%	98.79%	99.47%	97.71%	98.94%	98.81%	98.70%

3.4. Grafik dan Analisa Pengujian Marina Raya



Gambar 5. Grafik Pengujian di Marina Raya

Pada gambar 5 menjelaskan tentang hasil pengujian di Marina Raya. Grafik dengan warna biru menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 2, warna orange menunjukkan hasil dari rata rata akurasi GNSS HERE 2, warna kuning menunjukkan hasil dari rata rata akurasi IMU HERE 3, dan warna ungu menunjukkan hasil rata rata akurasi GNSS HERE 3.

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

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

Pada gambar 5 juga menunjukkan nilai akurasi dari GNSS HERE 2 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 3, akan tetapi pada pengujian dengan kecepatan 40 km/jam nilai akurasi GNSS HERE 3 lebih tinggi daripada nilai akurasi GNSS HERE 2.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu dari hasil pengujian akurasi kecepatan GNSS lebih tinggi daripada akurasi kecepatan IMU, dimana hasil rata rata akurasi kecepatan GNSS yaitu 98,95% sedangkan hasil rata rata akurasi kecepatan IMU yaitu 97,80%. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan sedikit penghalang yaitu Madukoro Raya mendapatkan hasil akurasi kecepatan GNSS Here 2 tertinggi sebesar 99,60% pada saat kecepatan pengujian maksimal 10 km/jam, sedangkan akurasi kecepatan GNSS Here 3 tertinggi sebesar 99,94 % pada saat kecepatan maksimal 40 km/jam. Pada pengujian yang dilakukan di lokasi dengan banyak penghalang yaitu Marina Raya mendapatkan hasil akurasi kecepatan GNSS Here 2 tertinggi sebesar 99,84 % pada saat kecepatan pengujian maksimal 10 km/jam, sedangkan akurasi kecepatan GNSS Here 3 tertinggi sebesar 99,00% pada saat kecepatan pengujian maksimal 30 km/jam. Perangkat yang paling bagus untuk pengukuran kecepatan yaitu GPS Here 2 dikarenakan hasil rata rata akurasi GPS Here 2 mencapai 99,41% sedangkan hasil rata rata akurasi GPS Here 3 sebesar 98,49% .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. S. Pramono, "Pembacaan Posisi Koordinat dengan GPS sebagai Pengendali Palang Pintu Rel Kereta Api secara Otomatis untuk Penambahan Aplikasi Modul Praktik Mikrokontroler," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru. UNY*, vol. 20, no. 2, p. 163808, 2011.
- [2] W. Rahiman and Z. Zainal, "An overview of development GPS navigation for autonomous car," *Proc. 2013 IEEE 8th Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2013*, no. June 2013, pp. 1112–1118, 2013, doi: 10.1109/ICIEA.2013.6566533.
- [3] M. Khosyi'in, E. N. Budisusila, S. A. D. Prasetyowati, B. Y. Suprpto, and Z. Nawawi, "Tests Measurement of UHF RFID for autonomous vehicle navigation," *Proc. - 2020 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. IT Challenges Sustain. Scalability, Secur. Age Digit. Disruption, iSemantic 2020*, pp. 255–261, 2020, doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234257.
- [4] C. Wibisono Darmawan, S. R. U A Sompie, and F. D. Kambey, "Implementasi Internet of Things pada Monitoring Kecepatan Kendaraan Bermotor," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 91–100, 2020.
- [5] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.111 Tahun 2015 Tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan," vol. Nomor 65, no. 879, pp. 2004–2006, 2015.
- [6] PX4 Autopilot, "Hex Cube Black Flight Controller," 2022. https://docs.px4.io/main/zh/flight_controller/pixhawk-2.html.
- [7] PX4 Autopilot, "Here 2," 2022. https://docs.px4.io/main/en/gps_compass/gps_hex_here2.html.
- [8] CubePilot, "Here 3 Manual," 2022. <https://docs.cubepilot.org/user-guides/here-3/here-3-manual>.
- [9] R. H. D. Putra, H. Sujiani, and N. Safriadi, "Penerapan Metode Haversine Formula Pada Sistem Informasi Geografis Pengukuran Luas Tanah," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 2, pp. 1262–1270, 2015.
- [10] M. Khosyi'in, S. A. D. Prasetyowati, B. Y. Suprpto, and Z. Nawawi, "The Impact of Telemetry Received Signal Strength of IMU / GNSS Data Transmission on Autonomous Vehicle Navigation," vol. 10, no. 4, pp. 970–982, 2022, doi: 10.52549/ijeei.v10i4.3901.