

PERANCANGAN SISTEM AKUISISI DATA POSISI DAN *ATTITUDE* OBJEK

Meita Sukma Listiyana^{*)}, Sudjadi, dan Wahyudi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: meitasukma5@gmail.com

Abstrak

Pada objek bergerak, membutuhkan pemantauan untuk mengetahui posisi dan sikap atau attitude objek. Attitude meliputi sudut roll, pitch, dan yaw. Pemantauan sulit dilakukan saat objek bergerak jauh dan berada di luar jangkauan operator. Pemantauan tersebut membutuhkan suatu sistem monitoring untuk memantau objek lebih lanjut. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui posisi dan gerak objek adalah dengan menggabungkan teknologi GPS dan sensor inersia. Penelitian ini membahas mengenai akuisisi data untuk memantau posisi dan attitude objek dengan menggabungkan GPS dan sensor inersia. Modul komunikasi yang digunakan adalah radio frekuensi 433 MHz dengan mikrokontroler ATmega1284p. Data mengenai objek diteruskan dan ditampilkan melalui Visual C# secara real-time. Pengujian latitude dan longitude dilakukan dengan tracking jalur objek, sedangkan pengujian sudut roll, pitch, dan yaw dilakukan dengan meletakkan objek sesuai dengan sudut referensi. Hasil pengujian tracking jalur objek memiliki toleransi terjauh 10,25m, sedangkan pengujian attitude didapatkan toleransi sebesar $0^{\circ} \pm 0,22^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0,49^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0,27^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0,58^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 0,57^{\circ}$ untuk sudut roll terhadap sumbu x, $0^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0,26^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0,59^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0,39^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 1,57^{\circ}$ untuk sudut pitch terhadap sumbu y, $0^{\circ} \pm 13,31^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 3,58^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 3,48^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 3,68^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 1,68^{\circ}$ untuk sudut yaw terhadap sumbu z. Berdasar hasil pengujian, perancangan sistem akuisisi data posisi dan attitude objek dapat berjalan dengan baik pada jangkauan 125m.

Kata Kunci: akuisisi data, GPS, sensor inersia, posisi dan attitude objek

Abstract

Moving objects need space to know the object position and attitude. The attitude include roll, pitch, and yaw angle. Monitoring is difficult when the object moves far and beyond the operator's reach. It needs a monitoring system on the object. GPS technology and inertial sensors can be used to determine object position and attitude. This final project discusses data acquisition to monitor the object position and attitude by combining GPS and inertial sensors. Communication module that used is radio frequency 433 MHz with microcontroller ATmega1284p. Data objects is displayed through Visual C # in real-time. Tracking object can be used for testing the latitude and longitude, while roll, pitch, and yaw angle testing is done by placing the object according to the reference angle. The result of object path tracking test has maximum toleration 10.25m, while attitude test got tolerance angle of roll $0^{\circ} \pm 0.22^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0.49^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0.27^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0.58^{\circ}$, and $90^{\circ} \pm 0.57^{\circ}$ about x axis, pitch angle $0^{\circ} \pm 0.05^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0.26^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0.59^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0.39^{\circ}$, and $90^{\circ} \pm 1.57^{\circ}$ about y axis, yaw angle $0^{\circ} \pm 13.31^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 3.58^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 3.48^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 3.68^{\circ}$, and $90^{\circ} \pm 1.68^{\circ}$ about z axis. Based on the test results, the design of position data acquisition system and attitude of the object can run well on the range of 125m.

Keywords: data acquisition, GPS, inertial sensor, object position and attitude

1. Pendahuluan

Objek bergerak membutuhkan pemantauan untuk mengetahui posisi objek apabila berada di luar jangkauan operator. Objek bergerak yang banyak dikembangkan saat ini adalah *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Gabungan *Global Positioning System* (GPS) dan sensor inersia dapat digunakan untuk mengetahui posisi dan gerak objek. GPS adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi dengan menggunakan satelit navigasi [1]. Sensor inersia

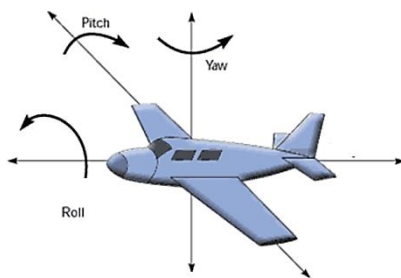
merupakan sensor yang dapat mengukur dan mendeteksi tingkat sudut (*roll*, *pitch* dan *yaw*) atau *attitude*, menggunakan kombinasi akselerometer, giroskop, dan magnetometer atau sensor kompas [2]-[5]. Data sensor inersia dapat digabung menggunakan tapis komplementer agar sudut yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih baik [6]. Tapis komplementer merupakan tapis digital yang dapat diaplikasikan secara sederhana pada sensor inersia [6]. Data GPS dan sensor inersia ditampilkan di *Personal Computer* (PC) menggunakan Visual Studio dengan

bahasa pemrograman C# agar dapat dipantau dengan mudah oleh operator. Proses mendapatkan data posisi, data sudut, hingga dapat ditampilkan melalui PC termasuk dalam sistem akuisisi data. Pada Penelitian ini dirancang sistem akuisisi data untuk memantau posisi dan *attitude* objek dengan menggabungkan GPS dan sensor inersia.

2. Metode

2.1. Inertial Navigation System

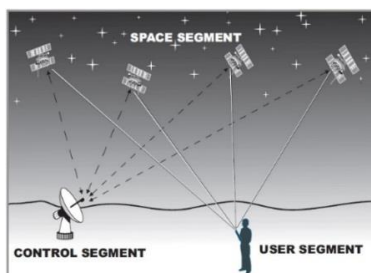
Inertial Navigation System (INS) merupakan sebuah sistem navigasi berbasis komputer yang memanfaatkan perubahan inersia untuk memberikan informasi tentang sikap (*attitude*) objek [3]. Sikap menurut KBBI memiliki arti bentuk tubuh, cara berdiri, perilaku, atau gerak-gerik. Pengertian *attitude* pada Penelitian ini merupakan sikap dari objek yang pantau tersebut. Data *attitude* yang diperoleh antara lain sudut guling atau *roll* (ϕ), sudut angguk atau *pitch* (θ), dan sudut geleng atau *yaw* (ψ) dengan arah seperti pada Gambar 1 [3].



Gambar 1. Arah *yaw*, *pitch*, dan *roll* pada pesawat [3]

2.1.1. Global Positioning System

Sistem GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen satelit (*space segment*), segmen sistem kontrol (*control system segment*), dan segmen pengguna (*user segment*) [4]. Segmen satelit adalah satelit GPS sebagai stasiun radio yang mengorbit di angkasa. Segmen sistem kontrol merupakan otak dari GPS yang bertugas mengatur semua satelit GPS yang ada. Segmen pengguna adalah para pengguna satelit GPS. Data yang didapat dari GPS adalah koordinat *latitude* dan *longitude*. Gambar 2 menunjukkan segmen penyusun GPS [4].

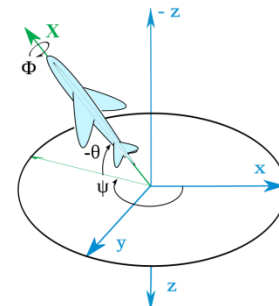


Gambar 2. Segmen GPS [4]

2.1.2. Pengukuran Sudut Orientasi

a. Pengukuran Sudut Orientasi dengan Sensor Giroskop

Sensor giroskop merupakan instrumen yang sensitif terhadap kecepatan sudut yang dapat diubah menjadi posisi sudut dengan mengintegrasikan kecepatan sudut secara digital [5]. Kecepatan sudut benda memiliki sumbu acuan *body* dan dilambangkan dengan p , q , dan r , seperti pada Gambar 3 [6]. Data giroskop perlu diubah sesuai dengan rotasi *euler angles* yang memiliki sumbu acuan bumi dengan mengalikan matriks rotasi sumbu *roll*, *pitch* dan *yaw* seperti persamaan 1 hingga menghasilkan persamaan 2 dengan ϕ adalah kecepatan sudut *roll*, θ adalah kecepatan sudut *pitch*, dan ψ adalah kecepatan sudut *yaw* [6].



Gambar 3 Sumbu acuan *body* sensor Giroskop [6]

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + R[\phi] \begin{bmatrix} \theta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + R[\phi]R[\theta] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \cos\theta & \cos\theta\sin\phi \\ -\sin\phi & 0 & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} \quad (2)$$

Rotasi *euler angles* sensor giroskop dapat dihitung dengan persamaan 3 [6].

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \frac{\sin\phi}{\cos\theta} & \frac{\cos\phi}{\cos\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (3)$$

b. Pengukuran Sudut Orientasi dengan Sensor Akselerometer

Sensor akselerometer merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur kemiringan yang diakibatkan oleh percepatan yang ditimbulkan karena adanya gaya gravitasi (*pitch* dan *roll*) [5]. Persamaan 4 [7] menunjukkan persamaan gaya pada sumbu x , y dan z suatu benda yang dibaca oleh sensor percepatan dengan

mengesampingkan gaya-gaya lain yang bekerja pada sensor .

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = g \begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \sin \phi \\ \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sudut orientasi *pitch* dan *roll* dapat dihitung dengan persamaan 5 dan 6.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{f_y}{f_z} \right) \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-f_x}{\sqrt{f_y^2 + f_z^2}} \right) \quad (6)$$

c. Pengukuran Sudut Orientasi dengan Sensor Magnetometer

Sensor magnetometer 3 sumbu dibutuhkan untuk membaca medan magnet bumi yang bekerja pada sebuah benda (m_x , m_y , dan m_z). Hubungan antara data pembacaan magnetometer dengan medan vektor magnet bumi (m_N , m_D , m_E) yang tersusun atas komponen utara, timur dan bawah dapat ditulis seperti persamaan 7 yang dapat disederhanakan menjadi persamaan 8 [8].

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \cos\theta\sin\psi & -\sin\theta \\ \sin\phi\sin\theta\cos\psi - \cos\phi\sin\psi & \sin\phi\sin\theta\sin\psi + \cos\phi\cos\psi & \sin\phi\cos\theta \\ \cos\phi\sin\theta\cos\psi - \sin\phi\sin\psi & \cos\phi\sin\theta\sin\psi + \sin\phi\cos\psi & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_N \\ m_E \\ m_D \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} m_N\cos\psi \\ m_N\sin\psi \\ m_D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta\sin\phi & \sin\theta\cos\phi \\ 0 & -\cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

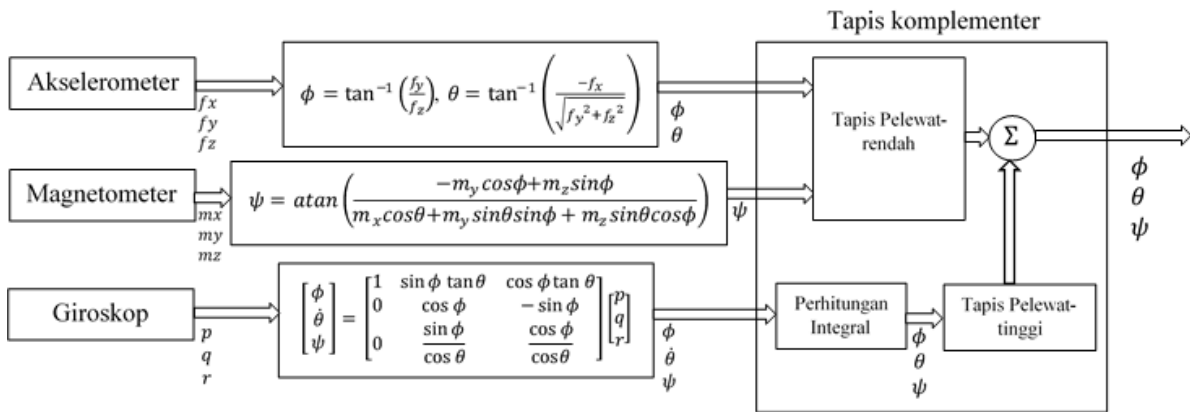
Nilai *yaw* dapat dicari menggunakan persamaan 9 [8].

$$\psi = \text{atan} \left(\frac{-m_y\cos\phi + m_z\sin\phi}{m_x\cos\theta + m_y\sin\theta\sin\phi + m_z\sin\theta\cos\phi} \right) \quad (9)$$

2.1.3. Tapis Komplementer

Tapis komplementer digunakan untuk menggabungkan data yang sama dari sensor akselerometer, giroskop dan magnetometer agar didapatkan data yang baik [2]. Diagram tapis komplementer yang biasa digunakan untuk sudut orientasi digambarkan pada Gambar 4 [5]. Data sudut orientasi sensor akselerometer dan magnetometer merupakan sinyal dengan derau frekuensi tinggi, sehingga ditapis dengan tapis pelewat-rendah. Data kecepatan sudut orientasi dari sensor giroskop dihitung dengan perhitungan integral sehingga didapatkan sudut dengan derau berfrekuensi rendah. Data sudut orientasi giroskop dilewatkan pada tapis pelewat-tinggi untuk menghilangkan deraunya. Ketiga data sudut orientasi direkonstruksi sehingga didapat data sudut orientasi yang baik. Perhitungan matematis tapis komplementer ditunjukkan oleh persamaan 10 [9]. K_A merupakan konstanta akselerometer dan magnetometer, sedangkan K_G merupakan konstanta giroskop. Nilai K_A apabila dijumlah dengan K_G akan menghasilkan nilai 1.

$$\text{Sudut} = (K_G) \times (\int \omega_{Giroskop} dt) + (K_A) \times (\Theta_{Akselero}) \quad (10)$$

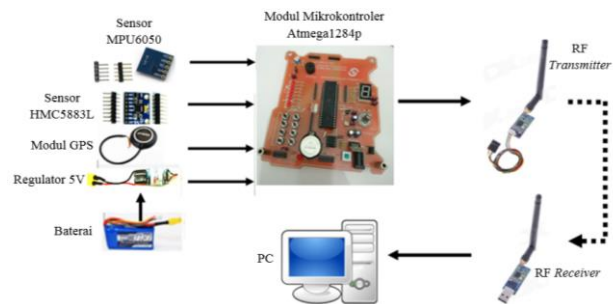


Gambar 4 Diagram tapis komplementer pada sudut orientasi [5]

2.2. Perancangan Sistem

2.2.1. Gambaran umum sistem

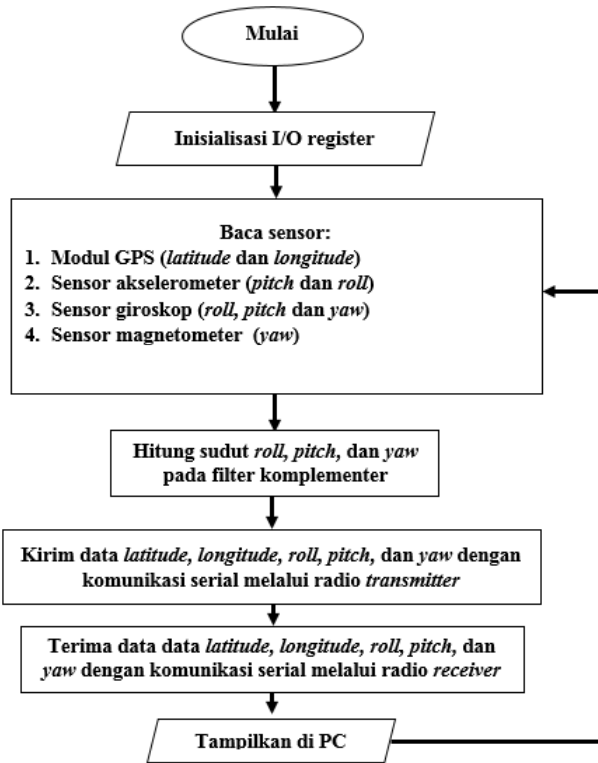
Perancangan sistem akuisisi data pada Penelitian ini terdiri dari beberapa komponen, yaitu modul GPS, sensor MPU6050 (akselerometer dan giroskop), sensor magnetometer, mikrokontroler Atmega1284p, radio frekuensi 433MHz, PC, baterai dan regulator tegangan. Secara umum hubungan komponen sistem akuisisi data yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan komponen sistem akuisisi data

2.2.2. Diagram alir sistem akuisisi data posisi dan attitude objek

Data *latitude* dan *longitude* didapat dari modul GPS, sedangkan data *attitude* atau sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw* didapat dari sensor-sensor inersia dengan menggunakan tapis komplementer untuk penggabungan datanya. Diagram alir proses inialisasi hingga penampilan data pada PC ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir program utama

3. Hasil dan Analisis

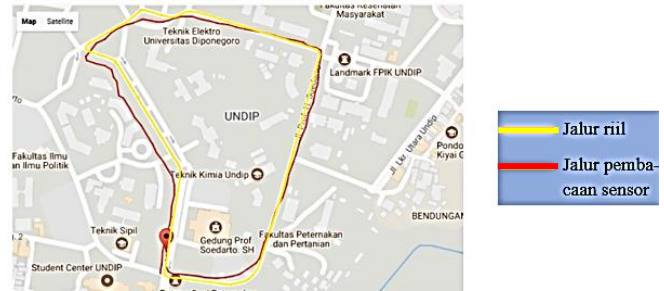
Pengujian yang dilakukan yaitu, pengujian *latitude* dan *longitude*, pengujian pada sudut *roll*, pengujian pada sudut *pitch*, pengujian pada sudut *yaw*, pengujian transfer data radio frekuensi 433MHz, serta pengujian sistem GUI.

3.1. Pengujian *latitude* dan *longitude*

Pengujian terhadap nilai *latitude* dan *longitude* dilakukan dengan melacak (*tracking*) jalur yang dilewati objek. Pengujian dilakukan di daerah Universitas Diponegoro. Jalur yang dilewati dimulai dari koordinat -7,053634, 110,439628 hingga koordinat -7,053268, 110,439692

Gambar 7 merupakan pengujian *tracking latitude* dan *longitude* dan jalur yang sebenarnya dilewati objek. Garis warna merah merupakan jalur yang dibentuk oleh koordinat objek, sedangkan garis warna hitam merupakan

jalur yang dilewati objek sebenarnya. *Tracking* untuk pengujian data *latitude* dan *longitude* sudah sesuai dengan jalur yang dilewati oleh objek, namun masih terdapat toleransi pada hasil pengujian *tracking*. Rata-rata toleransi yang didapat sebesar 7,22 m dan toleransi terjauh yaitu 10,25 m.



Gambar 7. Hasil pengujian *tracking* posisi menggunakan nilai *latitude* dan *longitude*

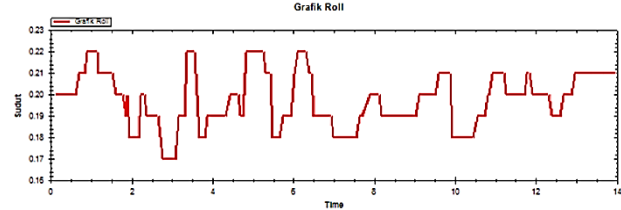
3.2 Pengujian pada sudut *roll*

Pengujian sudut *roll* menggunakan referensi sudut dari aplikasi *smartphone*. Objek dan *smartphone* diletakkan pada papan yang datar, kemudian dimiringkan sesuai dengan sudut pengujian. Pengujian sudut *roll* dilakukan dengan variasi sudut dari sudut 0°, 30°, 45°, 60° dan 90°. Hasil pengujian dan hasil perhitungan nilai toleransi pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian sudut *roll*

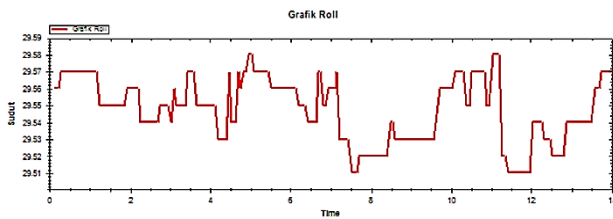
No.	Sudut Referensi (°)	Sudut Objek (°)	Toleransi (°)
1	0	0,22	0,22
2	30	29,51	0,49
3	45	45,27	0,27
4	60	59,42	0,58
5	90	89,43	0,57
Rata-rata toleransi			0,43

Dari Tabel 1, toleransi yang didapat merupakan toleransi maksimum setelah dilakukan 5 kali pengujian dikarenakan grafik hasil pengujian sudut *roll* tidak stabil. Pada pengujian sudut *roll* 60° memiliki nilai toleransi tertinggi sebesar 0,58°, pengujian sudut *roll* 0° memiliki nilai toleransi terkecil sebesar 0,22° dan rata – rata toleransi pengujian sudut *roll* sebesar 0,43°. Gambar 8 merupakan hasil pengujian sudut *roll* pada 0° hingga 90°.

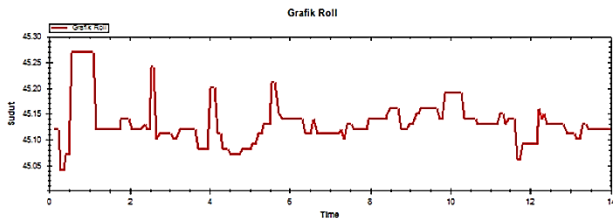


(a) Grafik pengujian sudut *roll* 0°

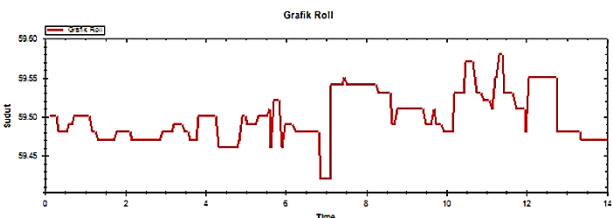
Gambar 8. Hasil pengujian sudut *roll*



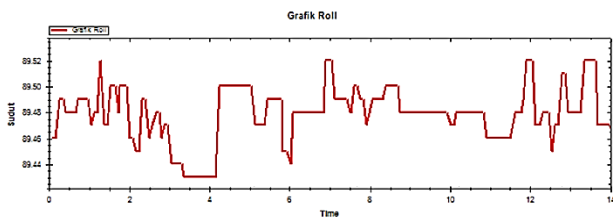
(b) Grafik pengujian sudut roll 30°



(c) Grafik pengujian sudut roll 45°



(d) Grafik pengujian sudut roll 60°



(e) Grafik pengujian sudut roll 90°



(f) Tampilan rotasi pengujian sudut roll 0° hingga 90°

Gambar 8. lanjutan

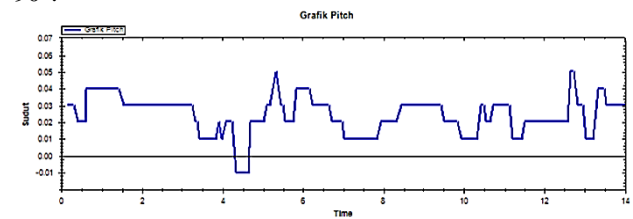
3.3. Pengujian pada sudut pitch

Pengujian sudut *pitch* menggunakan referensi sudut dari aplikasi *smartphone*. Objek dan *smartphone* diletakkan pada papan yang datar, kemudian dimiringkan sesuai dengan sudut pengujian. Pengujian sudut *pitch* dilakukan dengan variasi sudut dari sudut 0°, 30°, 45°, 60° dan 90°. Hasil pengujian dan hasil perhitungan nilai toleransi pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

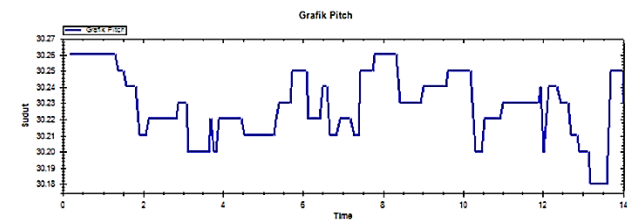
Tabel 2. Pengujian sudut *pitch*

No.	Sudut Referensi (°)	Sudut Objek (°)	Toleransi (°)
1	0	0,05	0,05
2	30	30,26	0,26
3	45	45,59	0,59
4	60	59,61	0,39
5	90	88,43	1,57
Rata-rata toleransi			0,57

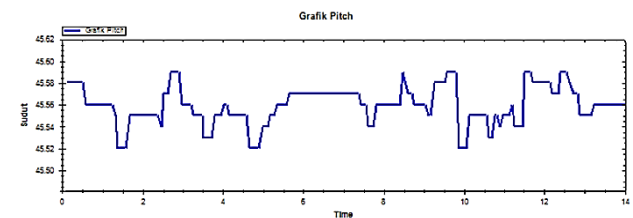
Dari Tabel 2 toleransi yang didapat merupakan toleransi maksimum setelah dilakukan 5 kali pengujian dikarenakan grafik hasil pengujian sudut *roll* tidak stabil. Pada pengujian sudut *pitch* 90° memiliki nilai toleransi tertinggi sebesar 1,57°, pengujian sudut *pitch* 0° memiliki nilai toleransi terkecil sebesar 0,05° dan rata – rata toleransi pengujian sudut *pitch* sebesar 0,57°. Gambar 9 merupakan hasil pengujian sudut *pitch* pada 0° hingga 90°.



(a) Grafik pengujian sudut pitch 0°

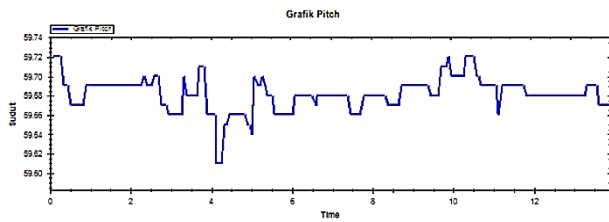


(b) Grafik pengujian sudut pitch 30°

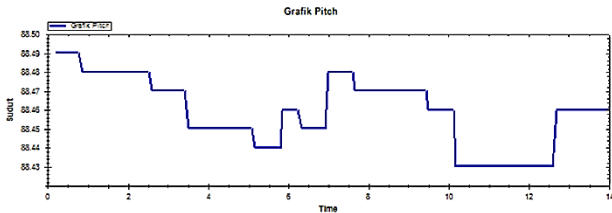


(c) Grafik pengujian sudut pitch 45°

Gambar 9 Hasil pengujian sudut *pitch*



(d) Grafik pengujian sudut *pitch* 60°



(e) Grafik pengujian sudut *pitch* 90°



(f) Tampilan rotasi pengujian sudut *pitch* 0° hingga 90°

Gambar 9. lanjutan

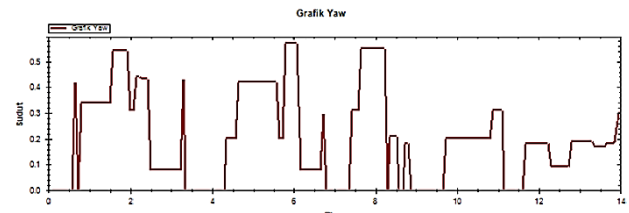
3.4. Pengujian pada sudut yaw

Pengujian sudut yaw menggunakan referensi sudut dari aplikasi *smartphone*. Objek dan *smartphone* diletakkan pada papan yang datar, kemudian diputar sesuai dengan sudut pengujian. Pengujian sudut yaw dilakukan dengan variasi sudut dari sudut 0°, 30°, 45°, 60° dan 90°. Hasil pengujian dan hasil perhitungan nilai toleransi pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

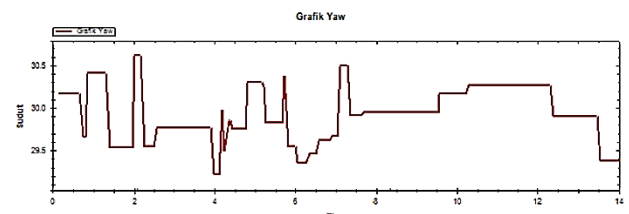
Tabel 3. Pengujian sudut yaw

No.	Sudut Referensi (°)	Sudut Objek (°)	Toleransi (°)
1	0	346,69	13,31
2	30	26,45	3,58
3	45	48,48	3,48
4	60	56,32	3,68
5	90	91,68	1,68
	Rata-rata		5,146

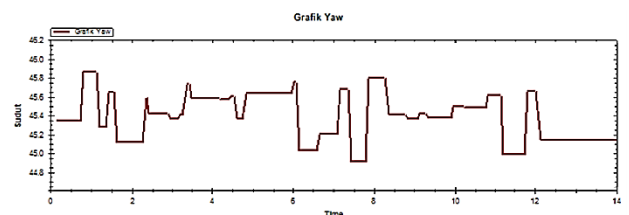
Dari Tabel 4.3 toleransi yang didapat merupakan toleransi maksimum setelah dilakukan 5 kali pengujian dikarenakan grafik hasil pengujian sudut *roll* tidak stabil. Pada pengujian sudut yaw 60° memiliki nilai toleransi tertinggi sebesar 2,3°, pengujian sudut yaw 0° memiliki nilai toleransi terkecil sebesar 0,57° dan rata – rata toleransi pengujian sudut yaw sebesar 1,28°. Gambar 10 merupakan hasil pengujian sudut yaw pada 0° hingga 90°.



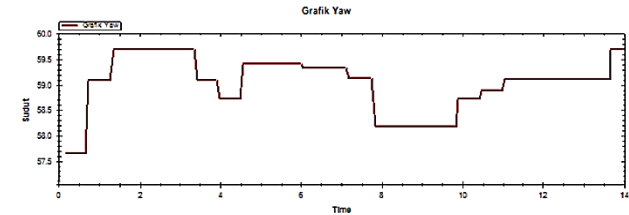
(a) Grafik pengujian sudut yaw 0°



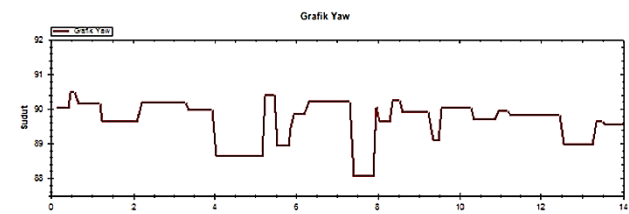
(b) Grafik pengujian sudut yaw 30°



(c) Grafik pengujian sudut yaw 45°



(d) Grafik pengujian sudut yaw 60°



(e) Grafik pengujian sudut yaw 90°

Gambar 10. Hasil pengujian sudut yaw



(f) Tampilan rotasi pengujian sudut yaw 0° hingga 90°

Gambar 10. lanjutan

3.5. Pengujian transfer data radio pada frekuensi 433MHz

Pengujian terhadap radio frekuensi 433MHz bertujuan untuk mengetahui seberapa besar jauh data dapat dikirim dengan baik. Pengujian dilakukan pada jarak uji 25 meter, 50 meter, 75 meter, 100 meter, 125 meter, dan 150 meter. Hasil pengujian transfer data menggunakan radio frekuensi 433MHz diperlihatkan pada Tabel 4.

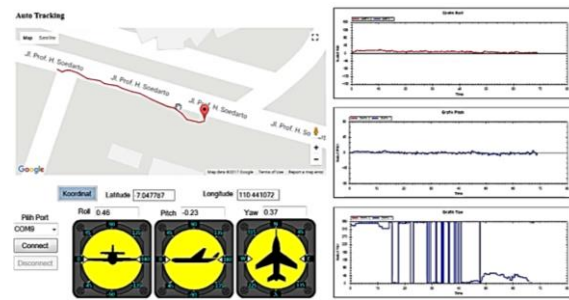
Tabel 4. Pengujian transfer data posisi dan attitude objek

No.	Jarak antara receiver dan transmitter	Status data serial
1	25 meter	Data diterima
2	50 meter	Data diterima
3	75 meter	Data diterima
4	100 meter	Data diterima
5	125 meter	Data diterima
6	150 meter	Data tidak diterima

Pada Tabel 4, hasil pengujian menunjukkan bahwa data hanya dapat diterima dengan baik hingga jarak 125 meter.

3.6. Pengujian sistem GUI

Pengujian dilakukan di daerah belakang Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Diponegoro, pada koordinat -7.047648, 110.44064 hingga koordinat -7.0477755, 110.441103. Data pengujian dilakukan dengan mengamati titik koordinat lokasi, visual 2 dimensi dan grafik dari roll, pitch, dan yaw. Gambar 11 menunjukkan data posisi dan attitude objek di tempat tersebut.



Gambar 11 GUI posisi dan attitude objek

Berdasarkan pengujian yang dilakukan menunjukkan posisi dan attitude objek kondisi di daerah belakang Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Diponegoro, dapat dipantau dengan baik. Data yang diperoleh dari pemantauan tersebut adalah sebagai berikut :

- Nilai latitude dan longitude yang didapat dimulai dari -7.0476385, 110.4406 hingga -7.0477755, 110.441072.
- Nilai sudut roll yang didapat adalah 0,46°
- Nilai sudut pitch yang didapat adalah -0,23°
- Nilai sudut yaw yang didapat adalah 0,37°.

4. Kesimpulan

Sistem akuisisi data posisi dan attitude objek yang dirancang telah berjalan dengan baik. Data latitude dan longitude yang diterima dari GPS memiliki toleransi sebesar 10,25 meter, tidak sesuai dengan nilai akurasi posisi horizontal pada datasheet sebesar 2,5 meter. Pengujian attitude menghasilkan toleransi sebesar $0^{\circ} \pm 0,22^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0,49^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0,27^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0,58^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 0,57^{\circ}$ untuk sudut roll terhadap sumbu x, $0^{\circ} \pm 0,05^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 0,26^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 0,59^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 0,39^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 1,57^{\circ}$ untuk sudut pitch terhadap sumbu y, $0^{\circ} \pm 13,31^{\circ}$, $30^{\circ} \pm 3,58^{\circ}$, $45^{\circ} \pm 3,48^{\circ}$, $60^{\circ} \pm 3,68^{\circ}$, dan $90^{\circ} \pm 1,68^{\circ}$ untuk sudut yaw terhadap sumbu z. Pada sudut yaw, toleransi yang didapat belum sesuai dengan perancangan yang diinginkan. Jangkauan transmisi antara antenna transmitter dan receiver sejauh 125 meter. Sistem akuisisi data posisi dan attitude objek telah berhasil dirancang dan nilai pembacaan sensor masih berada dalam toleransi yang dirancang.

Referensi

- A. Budiwati, "Tongkat Istiwa", Global Positioning System (GPS) dan Google Earth untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi dan Aplikasinya dalam Penentuan Arah Kiblat," *Al-Ahkam*, vol. 26, no. 1, pp. 65–92, 2016.
- M. . A. Akbar, Wahyudi, and A. Hidayatno, "Perancangan Perangkat Lunak Pendeteksi Sudut Dan Posisi Menggunakan Mikrokontroler Atmega 32," pp. 1–8.
- Y. Aditya Pramana, "Implementasi sensor accelerometer, gyroskope dan magnetometer berbasis mikrokontroler untuk menampilkan posisi benda menggunakan inertial navigation system (INS)."
- D. Firdaus and D. Widjaja, "Akuisisi data gps untuk

- pemantauan jaringan gsm 1,2,” vol. 2009, no. Snati, 2009.
- [5]. R. Nurfansyah, Wahyudi, and B. Setiyono, “Estimasi Sudut Orientasi Benda Mengginakan Sensor 6 DOF IMU dan Sensor Magnetometer 3 Aksis,” *Transient*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [6]. S. Rönnbäck, “Development of a INS / GPS navigation loop for an UAV,” vol. ISSN: 1402, no. 81, pp. 1–131, 2000.
- [7]. M. Pedley, “Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer,” *Free. Semicond. Inc.*, vol. Rev 6, pp. 1–22, 2013.
- [8]. T. S. Yoo, S. K. Hong, H. M. Yoon, and S. Park, “Gain-scheduled complementary filter design for a MEMS based attitude and heading reference system,” *Sensors*, vol. 11, no. 4, pp. 3816–3830, 2011.
- [9]. S. Colton, “The Balance Filter A Simple Solution for Integrating Accelerometer and Gyroscope Measurements for a Balancing Platform,” *Massachusetts Inst. Technol. Cambridge*, p. 20, 2007.