

## SISTEM TELEMETRI *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) BERBASIS *Inertial Measurement Unit* (IMU)

Anisa Ulya Darajat<sup>1</sup>, M. Komarudin<sup>2</sup>, Sri Ratna S<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung  
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

<sup>1</sup>[ni.annisa@gmail.com](mailto:ni.annisa@gmail.com), <sup>2</sup>[m.komarudin@gmail.com](mailto:m.komarudin@gmail.com), <sup>3</sup>[sriratnasulistivanti@gmail.com](mailto:sriratnasulistivanti@gmail.com)

### ABSTRAK

Telemetri adalah suatu proses yang digunakan untuk mengukur atau mencatat suatu besaran fisik pada suatu lokasi yang letaknya jauh dari pusat pengolahan hasil pengukuran. Sistem telemetri pada wahana udara tak berawak dapat memberikan informasi seperti posisi, ketinggian, arah, dan status wahananya sendiri secara *real time* pada saat wahana udara dioperasikan.

Sistem ini terdiri dari hardware dan software. Hardware berupa perangkat IMU yang terdiri dari mikrokontroler dan sensor. Untuk software terdiri dari sistem ground station yang menerima dan mengolah data dari IMU. Pada software dilengkapi dengan sistem instrumentasi pesawat.

Pada hasil pengujian, sistem IMU sudah dapat memberikan informasi kemiringan wahana, meski masih terdapat noise pada output dari setiap sensor. Instrumentasi wahana sudah dapat berfungsi dengan baik menunjukkan perilaku wahana. Penjejakan sudah dapat dilakukan dengan menggunakan ground station.

**Kata kunci :** Telemetri, *Real time*, *Ground Control Station*, , IMU , *Instrumentasi wahana*.

### ABSTRACT

Telemetry is a process used to measure or record of a physical quantity in a location far away from the central processing of measurement results. Telemetry systems on unmanned aerial vehicles can provide information such as position, altitude, direction, and status in real time rides themselves during air vehicle is operated.

The system consists of hardware and software. Hardware such as the IMU consisting of microcontrollers and sensors. For software consists of ground station systems that receive and process data from the IMU. On the software is equipped with aircraft instrumentation systems.

On the test results, the system is able to provide information IMU slope rides, although there is still a noise at the output of each sensor. Instrumentation rides well it works exhibit a vehicle. Tracking can be performed by using a ground station.

**Keywords:** Telemetry, Real time, Ground Control Station, IMU, Instrumentation rides.

### I. PENDAHULUAN

Pada pesawat *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) diperlukan sensor gerak untuk mendeteksi trayektori dan attitude ketika terbang. Sensor unit pengukuran inersia / *Inertial Measurements Unit* (IMU) diaplikasikan pada pesawat UAV sebagai payload sensor dinamik. Untuk memperoleh kualitas signal yang bagus perlu digunakan rangkaian amplifier dan filter yang optimal.

*Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan suatu unit dalam modul elektronik yang

mengumpulkan data kecepatan angular dan akselerasi linear yang kemudian dikirim ke *Central Processing Unit* (CPU) untuk mendapatkan data keberadaan dan pergerakan suatu benda. IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor kecepatan angular). *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari suatu benda.

*Inertial Measurement Unit* (IMU) sangat berguna pada sistem navigasi dan kendali. IMU yang terdiri dari dari tiga sensor *accelerometer* dan tiga sensor *gyroscope* yang masing-masing ditempatkan pada tiga sumbu (x, y, dan z) dan saling tegak lurus.

Sistem monitoring kendaraan yang ada pada saat ini hanya memberikan informasi keadaan-kendaraan pada dua derajat kebebasan (X dan Y), sehingga tidak diketahui rotasi kendaraan tersebut. Untuk dapat mengetahui kendaraan secara keseluruhan, yaitu pada enam derajat kebebasan yang terdiri dari tiga data posisi dan tiga data rotasi, maka diperlukan suatu IMU dengan enam derajat kebebasan, yaitu dengan menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* yang dipasang pada ketiga sumbu.

## II. TEORI DASAR

### 2.1 Wahana Udara tak Berawak (UAV)

Wahana udara tak berawak atau biasa disebut UAV, lebih dari sekedar model kendaraan udara karena dioperasikan tanpa adanya anggota kru penerbang di kendaraan tersebut.

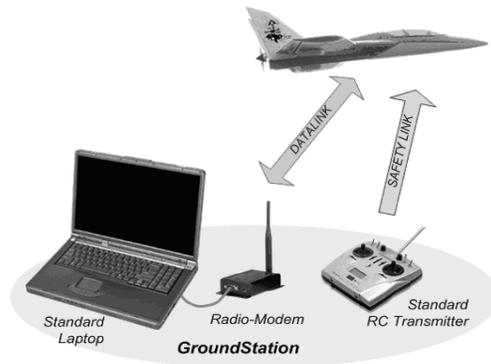
UAV merupakan wahana udara tak berawak yang salah satu pengoperasiannya dengan cara dikendalikan dari jarak jauh. UAV dapat berupa, pesawat atau helikopter yang menggunakan sistem navigasi mandiri. Pada dasarnya pesawat, atau helikopter dapat dipertimbangkan untuk menjadi kendaraan udara yang dapat melakukan misi yang berguna dan dapat dikendalikan dari jauh atau memiliki kemampuan terbang secara otomatis. [Unmanned Air Vehicle, 2007]



Gambar 1. Salah satu contoh bentuk UAV. <sup>[1]</sup>

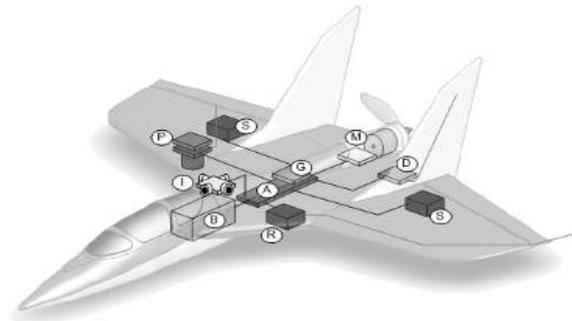
#### Bagian-bagian penyusun UAV [Paparazzi project, 2007]

Secara umum sistem UAV dibentuk oleh beberapa bagian yang saling berinteraksi, seperti pesawat, dan stasiun kontrol bumi.



Gambar 2. Sistem UAV secara umum.

Pesawat merupakan bagian terpenting dari UAV itu sendiri. Adapun bagian penyusun pesawat dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. Bagian-bagian dari wahana udara tak berawak. <sup>[2]</sup>

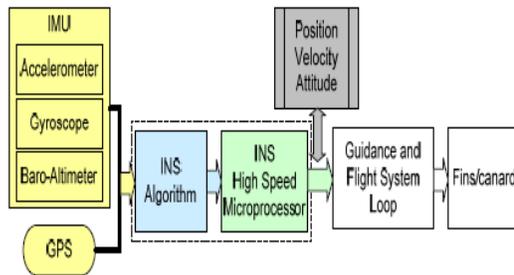
Keterangan:

- A = Autopilot kontrol
- B = Baterai
- D = *Datalink* radio modem dan antenna
- G = Penerima GPS
- I = Sensor IR
- M = Motor dan kontrol
- R = Penerima RC dan antenna
- S = Servo
- P = *Payload*, kamera dan pemancar video

Stasiun kontrol bumi terdiri dari sebuah komputer, pemancar RC, dan radio modem.

**2.2 Sistem Inertial Measurement Unit (IMU)**

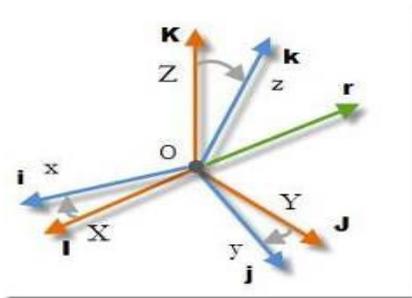
Inertial Measurement Unit (IMU) merupakan suatu unit dalam modul elektronik yang mengumpulkan data percepatan angular dan akselerasi linear, yang kemudian dikirim ke unit pemroses utama. IMU terdiri dari kombinasi *accelerometer* (sensor percepatan) dan *gyroscope* (sensor angular) untuk menjejaki keberadaan dan pergerakan suatu benda. *Accelerometer* digunakan untuk mengukur percepatan suatu benda dan *gyroscope* digunakan untuk mengukur rotasi dari suatu benda. Sebuah penelitian terhadap system instrumentasi IMU dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope*.<sup>[3]</sup> Suatu informasi posisi / jarak dapat diperoleh dari keluaran sensor *accelerometer* melalui proses algoritma tertentu. *Inertial Measurement Unit* (IMU) adalah komponen utama dalam sistem GNC (*Guidance, Navigation, and Control*) yang berfungsi menangkap parameter-paramater sinyal yang dibutuhkan dalam sistem navigasi. Berikut ini (Gambar 4) adalah diagram blok dari sistem GNC.



Gambar 4. Diagram blok sistem GNC<sup>[4]</sup>

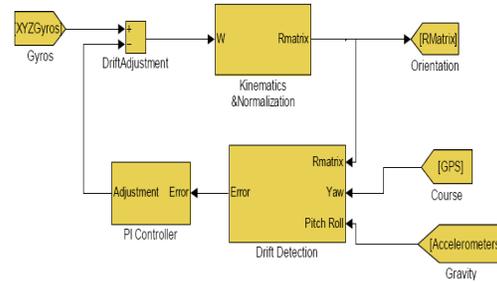
**2.3 Direction Cosine Matrix**

Secara umum, kinematika orientasi berkaitan dengan menghitung orientasi relative ke system global coordinat.



Gambar 5. Coordinat system<sup>[5]</sup>

DCM Matrix biasa disebut *rotation matrix*. Memiliki peran penting didalam kinematika orientasi karena dengan DCM Matrix dapat mendefinisikan rotasi dari satu bentuk ke bentuk lainnya.



Gambar 6. Block Diagram *Direction Cosinus Matrix*<sup>[6]</sup>

Cara DCM Matrix bekerja, yaitu :

- Gyro digunakan sebagai sumber utama dalam informasi orientasi.
- Mengenalai sejumlah error didalam integrasi secara bertahap
- Mengenalai sejumlah error, drift gyro, gyro offset secara bertahap mengumpulkan kesalahan dalam elemen DCM, menggunakan referensi vektor untuk mendeteksi kesalahan, dan proporsional ditambah integral (PI) pengontrol umpan balik negatif antara kesalahan terdeteksi dan gyro input yang digunakan pada langkah 1, untuk memperbaiki kesalahan lebih cepat.

**2.4 Global Positioning System (GPS)**

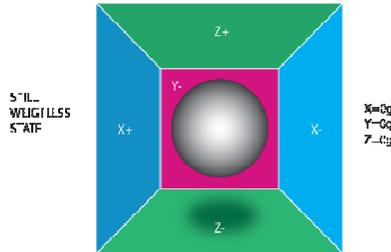
GPS adalah jaringan satelit yang terdiri dari sekitar 24 satelit yang mengelilingi bumi sebanyak dua kali sehari pada ketinggian 11.000 mil.



Gambar 7. Jaringan Satelit. [Garmin, 2000]<sup>[7]</sup>

2.5 Accelerometer

Ketika berpikir tentang *accelerometer* maka membayangkan sesuatu yang lain seperti membayangkan bola.

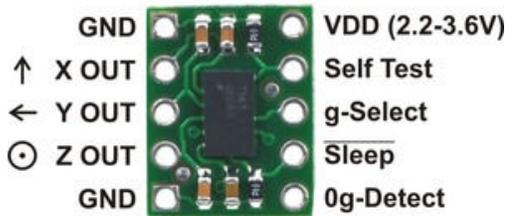


Gambar 8. Prinsip kerja Accelerometer

Jika mengambil kotak ini di tempat tanpa gravitasi bidang atau dalam hal ini dengan tidak ada bidang lain yang mungkin mempengaruhi posisi bola, hanya akan mengapung di tengah kotak. Dapat membayangkan kotak adalah di luar angkasa atau jika tempat seperti itu sulit ditemukan membayangkan setidaknya pesawat ruang angkasa yang mengorbit di sekitar planet di mana segala sesuatu dalam keadaan tanpa bobot. Dari gambar di atas, bayangkan bahwa setiap dinding sensitif tekanan. Jika bergerak tiba-tiba kotak ke kiri (mempercepatnya dengan percepatan  $1G = 9.8m/s^2$ ), bola akan memukul dinding -X. Sehingga kekuatan tekanan bola berlaku untuk dinding dan output nilai-1G pada sumbu X<sup>[8]</sup>

Sensor Accelerometer MM736IL

Accelerometer MM736IL memiliki tiga sumbu XYZ, sensor ini memiliki sensitivitas bias yang disesuaikan  $\pm 3G$  atau  $\pm 11G$ . Accelerometer ini memiliki kemasan dalam bentuk 10-pin DIP, yang membuatnya mudah digunakan dengan ProjectBoard, dan memiliki bentuk yang kecil serta beroperasi dari 2,2 V - 3,6 V.



Gambar 9. Pin Connections Sensor MM736IL

2.6 Gyroscope

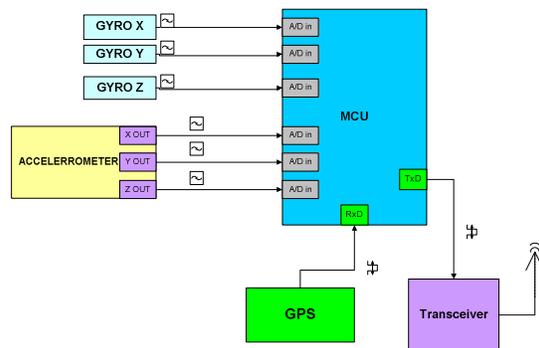
Gyroscope memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah sumbu x yang nantinya akan menjadi sudut *phi* (roll), dari sumbu y nantinya menjadi sudut *theta* (pitch), dan sumbu z nantinya menjadi sudut *psi* (yaw).<sup>[10]</sup> Gyroscope dapat membaca kecepatan sudut (angular rate) yang dinamis. Setelah melakukan komputasi menggunakan integral data dari waktu ke waktu, maka perpindahan sudut atau sudut kemiringan dapat dihitung. Tetapi sudut ini akan menjadi tidak akurat dalam jangka panjang karena efek bias yang dihasilkan oleh gyroscope.<sup>[9]</sup>



Gambar 10. Gyroscope pada Quadcopter Controller

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan dalam bentuk blok diagram seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Blok Diagram Rangkaian

### Perancangan Sistem

#### 1. Sensor

Pada sistem telemetri IMU terdapat payload yang terdiri dari sensor *accelerometer*, sensor *gyro* dan sensor posisi GPS.

#### 2. Pengiriman Data

Sebelum data dikirim, data disusun terlebih dahulu pada *transmit buffer*, sehingga letak data untuk masing-masing besaran dapat diketahui. Contohnya besaran *gyro x non filter* berada pada *byte* ke 5, pada *transmit buffer*, kemudian penerima pada stasiun bumi dapat mengetahui bahwa data *gyro x non filter* adalah kedatangan *byte* yang ke 5. Data telemetri dikirim secara serial dengan mode 4800 bps, 8 data bit, dan 1 stop bit dengan frekuensi 20 Hz.

Untuk mempermudah proses identifikasi dan pengecekan data yang diterima pada stasiun bumi, data dikirim secara paket. Paket data terdiri dari *header*, data, dan *byte cek*.

Tabel berikut ini menunjukkan komposisi dari paket data yang dikirim.

Tabel 1. Komposisi paket data dari Kontroler

Jenis Data	Jumlah	Byte
“RLL:”	5	0x00
IMU ROLL	1	0x06
IMU ROLL	1	0x07
IMU ROLL	1	0x08
IMU ROLL	1	0x09
“,PCH:”	5	0x0A
IMU PITCH	1	0x0
IMU PITCH	1	0x0B
IMU PITCH	1	0x0F
“,YAW:”	5	0x10
IMU YAW	1	0x15
IMU YAW	1	0x16
IMU YAW	1	0x17
IMU YAW	1	0x18
GPS Latitude	9	0x19
GPS Latitude	1	0x23
GPS Longitude	10	0x24
GPS Longitude	1	0x2E
GPS Satellite	2	0x2F
GPS Course	3	0x31
Total Byte	51	

#### 3. Perangkat Ground Control Station

Software *Ground Control Station* memiliki beberapa fitur penting diantaranya :

##### a. Grafik

IMU yang terdiri dari dari tiga sensor *accelerometer* dan tiga sensor *gyroscope* yang masing-masing ditempatkan pada tiga sumbu (x, y, dan z) dan saling tegak lurus. Grafik di bawah ini adalah contoh grafik perbandingan antara sensor *gyro* dan sensor *accelerometer*.

##### b. Comm Port Selector

Pada fitur *Ground Station* ini digunakan untuk memilih port yang akan digunakan serta baudrate yang akan digunakan. Dengan adanya port yang telah otomatis terdeteksi maka akan mempermudah proses penggunaan port serial yang digunakan.

##### c. Instrumentasi Avionic Artificial Horizon

Instrumen ini digunakan untuk menampilkan kondisi horisontal wahana. Dengan tampilan ini kita dapat melihat posisi kemiringan wahana (*Roll* dan *Pitch*). Cara membuatnya dengan memanfaatkan instrumentasi Avionic dari [codeproject.com](http://codeproject.com). sehingga dapat digunakan serta ditambahkan kedalam project form ini. Instrumen ini bekerja dengan menggunakan data yang didapat dari data sensor yang diolah oleh kontroler.<sup>[10]</sup>



#### d. Servo Rotation Viewer



Fitur ini merupakan tampilan simulasi derajat perputaran motor servo yang harus dilakukan untuk menstabilkan pesawat. Terdiri dari 3 servo yaitu servo *aileron* untuk menstabilkan pada sumbu *roll*, servo *Rudder* untuk menstabilkan wahana pada sumbu *Yaw*, dan servo *elevator* untuk menstabilkan wahana pada sumbu *Pitch*.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kontroler

Kontroler merupakan pusat proses dari sistem wahana terbang. Kontroler yang terdiri dari Atmega168P dan Atmega 32. Dimana Atmega 168P adalah sebagai prosesor utama ini memproses sensor dan menjadikannya output yang dapat berupa data serial sedangkan Atmega 32 dipergunakan untuk mengendalikan gerak motor servo.

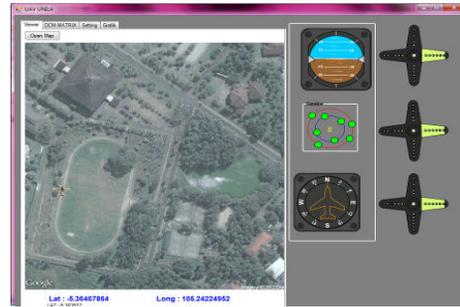


Gambar 12. Kontroler perangkat IMU

### 4.2 Ground Control Station

*Ground Control Station* merupakan software yang dibuat dari pemrograman Microsoft Visual Studio 10 menggunakan bahasa C# (C sharp). Dengan tampilan visual grafis yang memiliki instrumen penerbangan seperti ketinggian, keadaan

horizon, sudut heading (kearah mana pesawat menuju), jumlah satelit yang digunakan, peta lokasi 2 dimensi dan keadaan servo wahana.



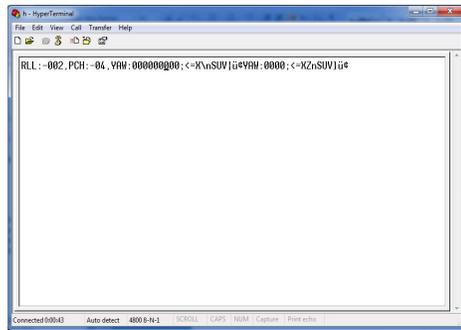
Gambar 13. Ground Control Station

## 4.3 Hasil Pengujian

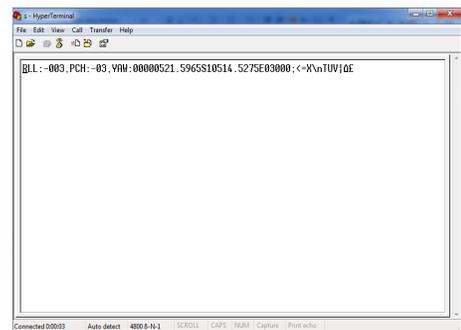
### 4.3.1 Pengujian Pengiriman Data dari Kontroler ke *Ground Station*.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan sistem dalam melakukan pengiriman data yang dilakukan dari kontroler ke ground station. Pengujian dilakukan dengan menggunakan GPS serta tanpa GPS. Pengujian dilakukan dengan melihat data yang dikirimkan oleh kontroler ke PC melalui perangkat wireless XTend. Data ditampilkan dalam perangkat lunak hyperterminal pada gambar. Kemudian pengiriman diuji coba pada perangkat lunak *Ground Station*. Dari gambar dapat dilihat bahwa perangkat lunak *Ground Station* sudah dapat menerima data. Data yang dikirimkan merupakan data ASCII dengan format seperti yang terdapat pada Tabel 1. Komposisi Data.

Pengiriman data ini menggunakan jalur komunikasi UART dengan *baudrate* 4800 bps. Pada dasarnya dengan *baudrate* rendah kurang efektif digunakan dengan data yang memiliki byte besar yaitu 63 *byte*, karena hal ini dapat mengakibatkan proses yang terlalu lama dalam mengirimkan data. Namun karena pada Atmega168 hanya terdapat 1 jalur komunikasi UART, dan GPS menggunakan jalur RX pada *baudrate* 4800 bps. Sehingga jalur TX harus mengikuti *baudrate* GPS yaitu 4800bps.



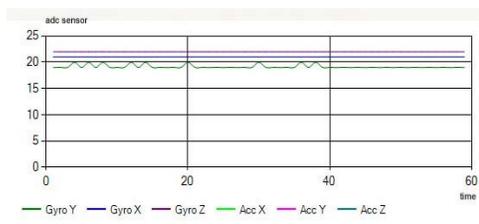
Gambar 14. Pengujian Pengiriman data Tanpa GPS pada *Hyperterminal*



Gambar 15. Pengujian dengan GPS pada *Hyperterminal*

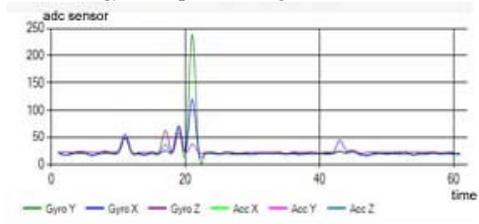
#### 4.3.2 Pengujian output sensor *gyroscope* dalam kondisi diam.

Pengujian dilakukan guna mendapatkan output dari sensor *gyroscope* dalam kondisi diam.



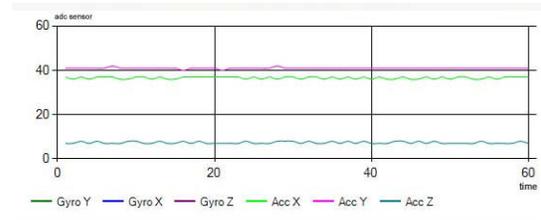
#### 4.3.3 Pengujian sensor *gyroscope* saat digerakkan secara acak.

Pengujian dilakukan guna mendapatkan output dari sensor *gyroscope* saat digerakkan secara acak.



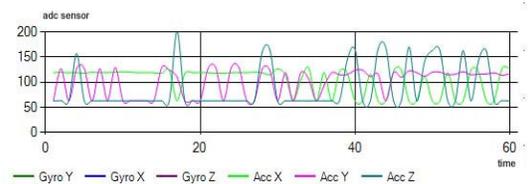
#### 4.3.4 Pengujian output sensor *accelerometer* dalam kondisi diam.

Pengujian dilakukan guna mendapatkan output dari sensor *accelerometer* dalam kondisi diam.



#### 4.3.5 Pengujian sensor *accelerometer* saat digerakkan secara acak.

Pengujian dilakukan guna mendapatkan output dari sensor *accelerometer* saat digerakkan secara acak.

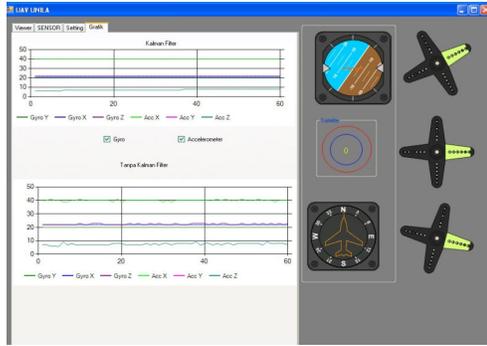


#### 4.3.6 Pengujian IMU pada *Ground Station*

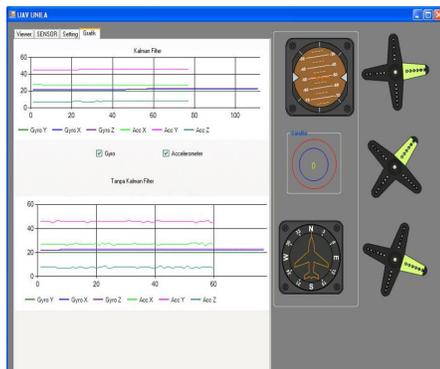
Pengujian ini bertujuan untuk melihat kombinasi kedua sensor dalam memberikan informasi berupa posisi kestabilan wahana saat bergerak yang terdiri dari 3 sumbu yaitu *Pitch Roll* dan *Yaw*. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan instrumentasi *Artificial Horizon* yang menyatakan kemiringan IMU pada posisi *pitch* dan *roll*.



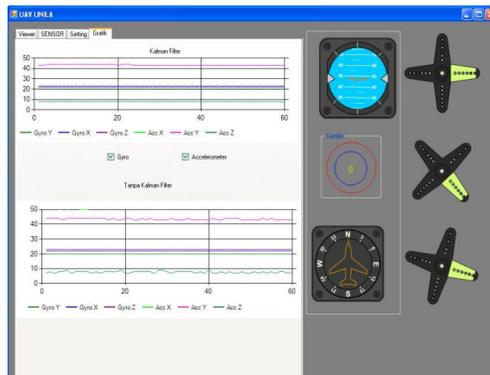
Gambar 16. Pengujian IMU pada *Ground Station* dalam kondisi awal



Gambar 17. Pengujian IMU dalam kondisi Kemiringan Rol 45° kekanan



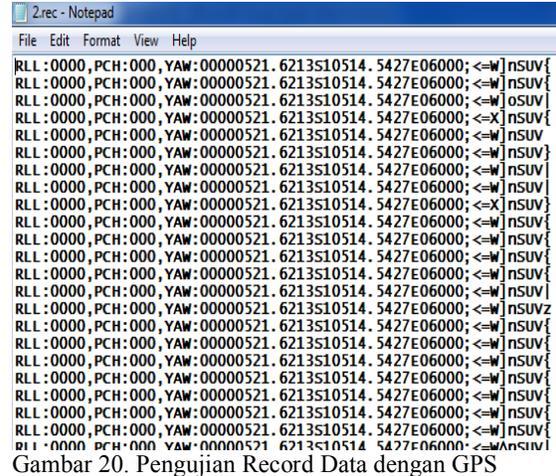
Gambar 18. Pengujian IMU pada Ground Station dalam kondisi kemiringan 45° pitch kedepan



Gambar 19. Pengujian IMU pada Ground Station dalam kondisi kemiringan 45° pitch kebelakang

**4.3.7 Pengujian Hasil Record Data pada Ground Station**

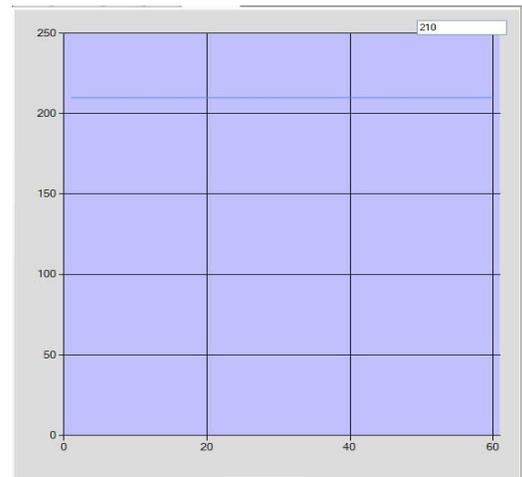
Pengujian ini bertujuan untuk melihat berhasil tidaknya fitur perekaman data pada perangkat lunak Ground Control Station. Data disimpan dalam file berekstensi \*.rec yang dapat dibaca dengan perangkat lunak Notepad.



Gambar 20. Pengujian Record Data dengan GPS

**4.3.8 Pengujian Respon Time**

Pengujian ini bertujuan untuk melihat respon time dari alat ke komputer. Dari pengujian terlihat hasil pengujian yang berupa gambar grafik yang memperlihatkan waktu respon yang dihasilkan dari alat ke komputer yaitu sebesar 210 ms.



Gambar 21. Pengujian Respon Time

**V. SIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Simpulan**

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perancangan dan pembuatan sistem telemetri untuk menerjemahkan data dari IMU telah teralisasi.
  2. *Output* yang dapat dihasilkan oleh IMU untuk memberikan informasi kestabilan wahana hanya berupa data serial.
  3. Penggunaan GPS dalam system IMU dalam penelitian ini belum maksimal untuk memberikan informasi YAW yang akurat untuk mengunci target tujuan.
  4. Penggunaan daya yang sama dengan perangkat transmisi akan mempengaruhi sinyal yang dihasilkan oleh sensor sehingga akan mempengaruhi.
- [8] Widada, W. dkk. 2005. *Rancang Bangun Sistem Kalibrasi Rotasi Rate Gyroscope untuk Sistem Pengukuran Inersia Payload Roket*. Sitekgan IX. Serpong.
  - [9] Widada, W. 2005. *Aplikasi Digital Exponential Filtering untuk Embedded Sensor Payload Roket*. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Bogor.
  - [10] Istiqphara, Swadexi. 2012. *Rancang Bangun Sistem Manual Pilot Menggunakan Joystick Logitech dan Sistem Autopilot Pada Wahana Udara Tak Berawak*. Universitas Lampung. Lampung.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Menggunakan Sensor Magnetometer 3 axis sehingga menghasilkan IMU 9DOF(Degree Of Freedom).
2. Optimalisasi penggunaan GPS dalam sistem IMU.
3. Menggunakan jalur I<sup>2</sup>C, UART dan SPI(*serial peripheral interface*) sebagai keluaran IMU sebagai informasi attitude wahana.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mubarok, Asep, dkk. 2009. *Pendeteksi Rotasi Menggunakan Gyroscope Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [2] Putro, Iman Dwi. 2007. *Rancang Bangun Sistem Telemetri Pada Wahana Udara Tak Berawak*. Universitas Lampung. Lampung.
- [3] Riyadi, Muhammad. 2009. *Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor Accelereometer MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler Atmega 32*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [4] Wiryadinata, Romi. dkk. 2008. *Error Correction Of Rate-Gyroscope Calibration For Inertial Navigation System Algorithm*. UGM. Yogyakarta.
- [5] Pooya Najafi Zanjani and Ajith Abraham. 2010. *A Method for Calibrating Micro Electro Mechanical Systems Accelerometer or Use as a Tilt and Seismograph Sensor*. IEEE Press.
- [6] Premerlani W. and Bizard P. *Direction Cosine Matrix IMU: Theory*
- [7] Zhang, Pifu. dkk. 2005. *Navigation with IMU/GPS/Digital Compass with Unscented*