

## Pengembangan Prototip Sistem Pemantau Sikap Dinamik Roket Dengan Visualisasi Grafik dan Animasi Pergerakan 3D Secara *Real Time*

Rifki Reinaldo<sup>\*</sup>, Mashaler Suradam, Eko Andri, Iwan Sugihartono

Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi  
Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta  
Jl. Pemuda Rawamangun No. 10, Jakarta Timur  
<sup>\*</sup>Email: [rifkyreynaldo@gmail.com](mailto:rifkyreynaldo@gmail.com)

### Abstrak

Telah dikembangkan sebuah prototip sistem temetri yang berfungsi untuk mendukung proses pemantauan sikap dinamik roket dengan visualisasi grafik dan animasi pergerakan 3D secara *real time*. Sistem dibangun berdasarkan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) 10 derajat kebebasan dan mikrokontroler ATmega328P pada perangkat keras. Sementara perangkat lunak sistem yang berperan sebagai *Ground Control Station* (GCS) untuk melakukan *telecommand* dan visualisasi data, dibangun berdasarkan *Graphical User Interface* (GUI) komputer menggunakan *programming environment* Processing. Perangkat keras dan perangkat lunak sistem terhubung secara nirkabel melalui modul frekuensi radio Xbee S2 2.4 GHz. Pengujian sistem dilakukan secara eksperimental melalui beberapa metode uji fungsionalitas, respon serta ketahanan sistem seperti uji *g-shock*, *g-force*, uji vibrasi, dan uji *telecommand*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dan memiliki tingkat keberhasilan dalam berbagai perlakuan uji yang diberikan sebesar 100%. Proses telemetri data serta fungsi *telecommand* dan visualisasi berlangsung dengan baik tidak mengalami cacat data, *lag*, misinterpretasi visualisasi dan tidak mengalami putus koneksi selama pengujian berlangsung.

**Kata Kunci:** *Inertial Measurement Unit* (IMU), ATmega328P, *Telecommand*, Telemetri, Processing

### Abstract

A prototype telemetry system has been developed to support process of real time monitoring dynamic attitude of rocket with graph and 3D movement animation visualization. The hardware of the system is based on 10 degrees of freedom Inertial Measurement Unit (IMU) sensor and microcontroller ATmega328P. While, software of the system which is act as a Ground Control Station (GCS) that used to perform telecommand and data visualization is built based on computer Graphical User Interface (GUI) using Processing programming environment. The hardware and software of the system wirelessly connected through wireless radio frequency module Xbee S2 2.4 GHz. Testing of the system is done experimentally through some functionality, response as well as survivability testing method, namely as *g-shock*, *g-force*, vibration, and telecommand test. The results of the test show that the system can work well and has a success rate in the various testing treatment given at 100%. The process of data telemetry, telecommand function and data visualization run well and didn't have any disabilities, lag, visualization misinterpret and did not experience dropped connection during the test.

**Keywords:** *Inertial Measurement Unit* (IMU), ATmega328P, *Telecommand*, Telemetry, Processing

### 1. Pendahuluan

Roket merupakan salah satu wahana dirgantara yang memiliki makna strategis bagi suatu bangsa. Roket mampu digunakan untuk melaksanakan misi perdamaian maupun pertahanan. Dengan kata lain, roket berfungsi sebagai peralatan untuk menjaga kedaulatan dan meningkatkan martabat bangsa, baik di darat, laut maupun di udara hingga antariksa [1]. Roket pada dasarnya hanya dapat dibuat oleh lembaga yang berwenang dalam suatu negara seperti di Indonesia yaitu oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Sementara pihak yang berada diluar naungan

LAPAN diperbolehkan hanya sebatas mempelajari roket dan tidak diizinkan untuk membuatnya. Namun, untuk muatan roket (*payload*), pihak lain boleh mempelajari sekaligus membuatnya. [2] Sebelum sebuah roket yang telah berhasil dibuat diterbangkan, roket tersebut harus dikarakterisasi terlebih dahulu dinamika terbangnya. Hal ini bertujuan agar dapat diketahui serta dianalisis beragam koefisien parameter dinamika terbang yang dimiliki roket tersebut. Jenis karakterisasi ini pada umumnya meliputi karakterisasi geometri, inersia, dan aerodinamika roket. Proses karakterisasi aerodinamik roket dapat dilakukan secara teoritis dan eksperimen. Secara teoritis yaitu melalui perhitungan matematis serta simulasi komputer.

Sementara secara eksperimen dilakukan dalam dua bentuk, yaitu uji darat yang dilakukan melalui pengujian pada terowongan angin (*wind tunnel*), dan uji terbang [3]. Selama proses karakterisasi aerodinamik roket secara eksperimen berlangsung, parameter-parameter sikap dinamik yang muncul tentunya tidak hanya diamati secara visual melainkan harus dapat diakuisisi secara kuantitatif. Hal ini juga tentunya tidak dapat dilakukan tanpa adanya dukungan sistem akuisisi telemetri yang dapat mengukur secara *real time* setiap parameter sikap dinamik roket yang timbul. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibangun sebuah prototip sistem telemetri yang berfungsi untuk mendukung proses pemantauan sikap dinamik roket secara *real time*.

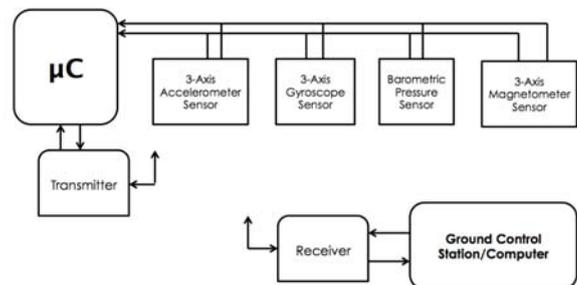
Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya [4]. Dalam penelitian tersebut, dibangun sebuah muatan roket yang dapat melakukan proses pemantauan sikap dinamik roket dan juga *surveillance*. Namun dalam penelitian ini, penulis membatasi hanya berkonsentrasi pada sistem pemantau sikap dinamik roket. Sensor yang digunakan untuk melakukan pemantauan sikap dinamik roket dalam penelitian tersebut adalah sensor *accelerometer 3-axis* dan mikrokontroler Basic Stamp 2P40, Sementara dalam penelitian ini digunakan sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)* 10 derajat kebebasan yang merupakan kombinasi dari 4 buah sensor pergerakan dan mikrokontroler ATmega328P. Perangkat lunak *Ground Control Station (GCS)* pada penelitian tersebut dibangun menggunakan bahasa pemrograman *LabView* dan hanya memiliki fitur visualisasi grafik. Sementara pada penelitian ini GCS dibangun berdasarkan bahasa pemrograman *Processing* yang tidak hanya memiliki fitur visualisasi grafik tetapi juga memiliki fitur visualisasi animasi pergerakan 3 dimensi (3D). Selain itu GCS dalam penelitian ini juga dibangun untuk memiliki fitur penyimpanan data baik dalam bentuk data mentah maupun plot grafik yang dapat digunakan untuk keperluan analisis lebih lanjut.

## 2. Metodologi Penelitian

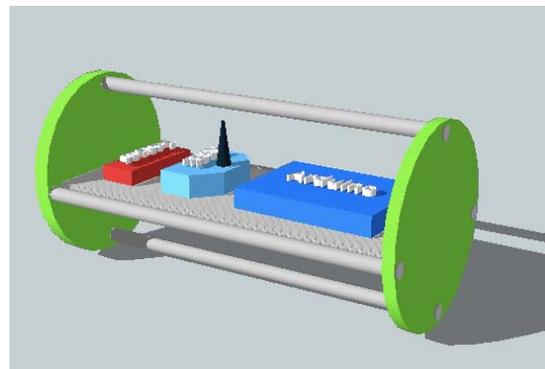
### 2.1. Perancangan Sistem

Sistem dalam penelitian ini dirancang terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian perangkat keras dan perangkat lunak. Blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar. 1. Pada tahap awal dilakukan perancangan perangkat keras sistem dimulai dari desain struktural seperti pada gambar. 2. Devais elektronik yang digunakan pada perangkat keras sistem terdiri dari mikrokontroler, sensor dan modul komunikasi frekuensi radio nirkabel. Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega348P yang terintegrasi pada *development board* Arduino UNO. Sementara pada bagian

sensor, digunakan sensor IMU 10 derajat kebebasan yang merupakan kombinasi dari 4 buah sensor yaitu, sensor *3-axis accelerometer* ADXL345, *3-axis gyro-rate* ITG3200, *3-axis magnetometer* HCM5883L, dan *barometric pressure* BMP085. Spesifikasi dari sensor IMU ini dapat dilihat pada tabel. 1.



Gambar 1. Blok diagram rancangan sistem.



Gambar 2. Desain struktural perangkat keras sistem.

Sementara pada bagian modul komunikasi nirkabel, digunakan dua buah modul frekuensi radio, yaitu Xbee S2 2.4 GHz yang dikoneksikan pada mikrokontroler dan Xbee Pro S2B 2.4 GHz yang dikoneksikan pada komputer.

Tahap selanjutnya adalah menanamkan perangkat lunak pada mikrokontroler untuk melakukan telemetri dan *telecommand* dengan GCS. *Telecommand* dalam hal ini adalah pengatur jalannya proses transmisi data telemetri antara mikrokontroler dengan GCS maupun sebaliknya. Pada tahap akhir dilaksanakan perancangan perangkat lunak sistem menggunakan *programming environment* Processing. Perangkat lunak sistem dalam hal ini berperan sebagai *Ground Control Station (GCS)* untuk menerima, menyimpan dan memvisualisasikan data telemetri serta melakukan fungsi *telecommand* dengan mikrokontroler. Perangkat lunak sistem dirancang untuk memiliki berbagai macam fitur visualisasi informatif serta penyimpanan data hasil telemetri. Fitur-fitur yang dimaksud seperti, visualisasi kompas, altimeter, plot grafik otomatis, dan animasi pergerakan 3D.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor IMU 10 Derajat Kebebasan yang Digunakan.

Besaran	Range	Static precision	Dynamic precision	Resolusi	Noise	Bandwidth
Kecepatan Angular	$\pm 2000^0/s$	$\pm 0.1^0/s$	-	$0.01^0/s$	$0.38^0/s\text{-rms}$	36 kHz
Percepatan	$\pm 2 - \pm 16 \text{ g}$	$(\pm 20/\pm 100).10^{-3} \text{ g}$	-	$(1/9).10^{-3} \text{ g}$	$(1/12).10^{-3} \text{ g}$	3.2 kHz
Sudut Roll	$\pm 180^0$	$\pm 0.1^0$	$\pm 0.50^0$	$0.025^0$	$0.15^0$	36 kHz
Sudut Pitch	$\pm 90^0$	$\pm 0.1^0$	$\pm 0.50^0$	$0.012^0$	$0.10^0$	33 kHz
Sudut Yaw	$0-360^0$	$\pm 0.1^0$	$\pm 0.50^0$	$0.025^0$	$0.50^0$	30 kHz
Kompas Heading	$0-360^0$	$\pm 2^0$	$\pm 0.50^0$	$0.50^0$	$0.10^0$	75 Hz
Ketinggian	$-0.6 - 8 \text{ km}$	5 m	-	1 m	0.30 m	-

## 2.2. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dalam penelitian ini dilakukan secara eksperimental, yaitu dengan menguji fungsionalitas, respon serta ketahanan sistem terhadap beberapa variasi metode pengujian. Metode pengujian yang dimaksud berbasis uji mekanik seperti uji *g-force*, uji *g-shock*, dan uji vibrasi. Metode setiap pengujian dilakukan seperti yang dianjurkan oleh referensi dan beberapa penelitian terkait sebelumnya [5][6]. Uji *g-force* dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu dengan memutarakan perangkat keras melalui pemanfaatan putaran motor mesin bor. Uji *g-shock* dilaksanakan dengan memberikan pukulan secara tidak langsung terhadap perangkat keras sistem menggunakan palu. Uji vibrasi dilakukan dengan menerapkan

vibrasi pada perangkat keras sistem melalui pemanfaatan mesin gerinda duduk. Uji fungsi *telecommand* juga dilakukan dalam penelitian ini secara bersamaan pada setiap uji mekanik, yaitu dengan menghidupkan dan mematikan fungsi *telecommand* pada GCS selagi perangkat keras mengalami pengujian tersebut.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 hasil rancang bangun sistem

Hasil rancang bangun sistem dapat dilihat pada gambar. 3 dan gambar. 4.



Gambar 3. Hasil rancang bangun perangkat keras.

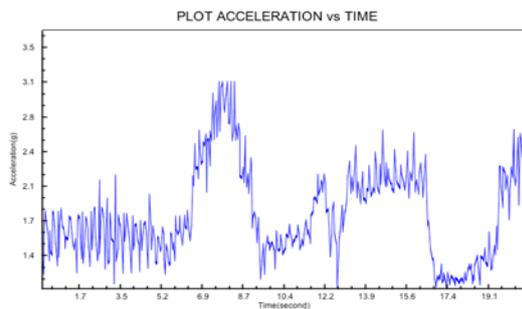


Gambar 4. Hasil rancang bangun perangkat lunak.

### 3.2 Hasil Pengujian Sistem

#### Hasil Uji G-Force

Pada uji *g-force*, hasil fitur plot grafik otomatis GCS untuk data telemetri sensor *accelerometer* dapat dilihat pada gambar. 5.



**Gambar 5.** Hasil fitur plot grafik otomatis GCS data telemetri sensor accelerometer pada uji *g-force*

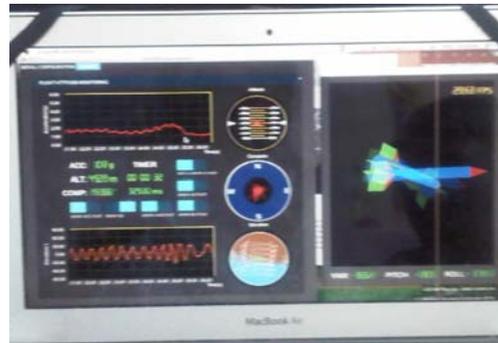
Berdasarkan plot grafik tersebut, besar percepatan inersia yang terukur oleh sensor *accelerometer* tidaklah konstan, melainkan bervariasi terhadap waktu dengan nilai maksimum sekitar 3.1g. Hal tersebut sesuai dengan perlakuan sesungguhnya yang diberikan terhadap sistem selama pengujian berlangsung, yaitu memberikan variasi percepatan inersia melalui pemutaran perangkat keras sistem dengan kecepatan dan percepatan sudut yang tidak konstan. Sementara untuk hasil uji *telecommand* pada tiap 5 detik pertama uji *g-force* berlangsung dapat dilihat pada tabel. 2.

**Tabel 2.** Hasil uji *telecommand* pada uji *g-force*.

Kedaaan Telecommand	Waktu (detik)	Kedaaan Paket Data Yang Diterima	Kualitas Paket Data
ON	0.172	Lengkap	Baik
	1.099	Lengkap	Baik
	2.023	Lengkap	Baik
	3.031	Lengkap	Baik
	4.016	Lengkap	Baik
5.052	Lengkap	Baik	
OFF	-	-	-
ON	0.296	Lengkap	Baik
	1.046	Lengkap	Baik
	2.036	Lengkap	Baik
	3.074	Lengkap	Baik
	4.020	Lengkap	Baik
5.061	Lengkap	Baik	

Dari hasil uji *telecommand* tersebut, terlihat bahwa penerapan gangguan percepatan inersia terhadap sistem tidak menghambat kinerja telemetri data.

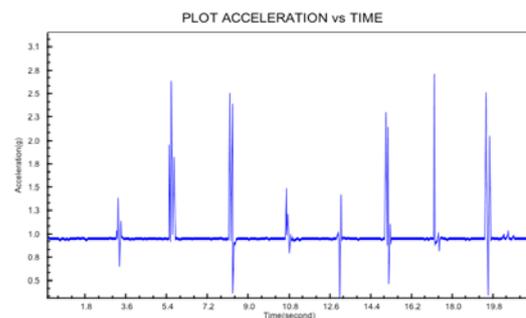
Hal ini terbukti bahwa tidak adanya paket data yang diterima mengalami keadaan hilang ataupun cacat serta tidak terjadinya putus koneksi selama pengujian berlangsung. Tampilan visualisasi GCS ketika uji *g-force* berlangsung dapat dilihat pada gambar. 5.



**Gambar 5.** Tampilan GCS ketika uji *g-force* dilaksanakan.

### 3.3 Hasil Uji G-Shock

Pada uji *g-shock*, hasil fitur plot grafik otomatis GCS untuk data telemetri sensor *accelerometer* dapat dilihat pada gambar. 6. Berdasarkan plot grafik tersebut, sensor *accelerometer* membaca setiap hentakan yang diterapkan dengan respon yang cukup baik sebagaimana salah satu fungsi sensor *accelerometer* yaitu sebagai *mechanical shock sensor*.



**Gambar 6.** Hasil fitur plot grafik otomatis GCS data telemetri sensor accelerometer pada uji *g-shock*.

Hal ini dibuktikan dengan bermunculannya puncak-puncak seperti spektrum pada grafik tersebut. Spektrum ini pada dasarnya mengartikan besar dan waktu diterapkannya hentakan. Kemunculan puncak-puncak spektrum pada hasil ini sangat bertepatan dengan waktu pemberian hentakan dan mempunyai nilai maksimum

mencapai 2.8 g. Sementara untuk hasil uji *telecommand* pada tiap 5 detik pertama uji *g-shock* berlangsung dapat dilihat pada tabel. 3.

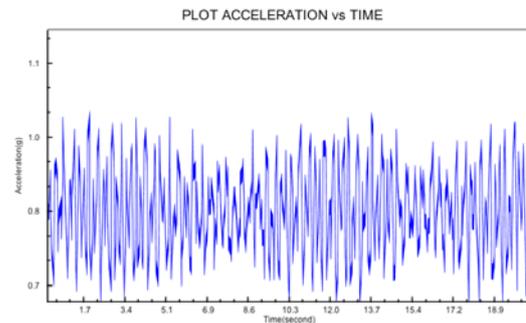
**Tabel 3.** Hasil uji *telecommand* pada uji *g-shock*.

Keadaan Telecommand	Waktu (detik)	Keadaan Paket Data Yang Diterima	Kualitas Paket Data
ON	0.138	Lengkap	Baik
	1.000	Lengkap	Baik
	2.006	Lengkap	Baik
	3.020	Lengkap	Baik
	4.035	Lengkap	Baik
5.011	Lengkap	Baik	
OFF	-	-	-
ON	0.981	Lengkap	Baik
	1.024	Lengkap	Baik
	2..20	Lengkap	Baik
	3.065	Lengkap	Baik
	4.079	Lengkap	Baik
	5.021	Lengkap	Baik

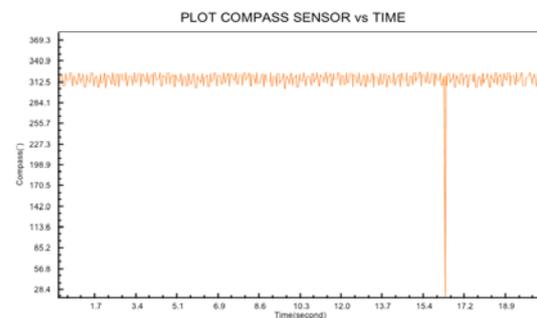
### 3.4. Hasil Uji Vibrasi

Pada uji vibrasi, hasil fitur plot grafik otomatis GCS untuk data telemetri sensor *accelerometer* dan *magnetometer* dapat dilihat pada gambar. 7 dan gambar. 8. Berdasarkan hasil plot grafik ini, terlihat bahwa sensor *accelerometer* membaca setiap sinyal getaran yang muncul dengan cukup baik berkesesuaian dengan salah satu fungsi sensor *accelerometer* yaitu sebagai sensor getaran. Hal ini juga dibuktikan dengan keperiodikan sinyal yang terbaca berkesesuaian dengan keadaan sesungguhnya dimana frekuensi vibrasi yang diterapkan dalam pengujian ini bernilai konstan. Selain itu, pola keperiodikan sinyal yang terbaca oleh sensor *accelerometer* dalam pengujian ini juga dapat diartikan sebagai karakteristik atau pola vibrasi yang terukur.

Namun, untuk hasil plot grafik data telemetri sensor *magnetometer* pada pengujian ini menunjukkan terdapatnya kesalahan pengukuran. Seharusnya sensor *magnetometer* mengukur derajat pengarah kutub medan magnet bumi dengan nilai yang konstan, dikarenakan perangkat keras sistem tidak mengalami perubahan arah *heading* selama uji vibrasi berlangsung. Hal ini terjadi bukan disebabkan adanya disfungsi sensor yang digunakan, melainkan vibrasi yang ditimbulkan mesin gerinda duduk berasal dari rotasi *gear* akibat adanya induksi medan magnet. Disinyalir kuat, medan magnet tersebut mengganggu kinerja pengukuran sensor *magnetometer* yang digunakan.



**Gambar 7.** Hasil fitur plot grafik otomatis GCS data telemetri sensor *accelerometer* pada uji vibrasi



**Gambar 8.** Hasil fitur plot grafik otomatis GC data telemetri sensor magnetometer pada uji vibrasi

**Tabel 4.** Hasil uji *telecommand* pada uji vibrasi.

Keadaan Telecommand	Waktu (detik)	Keadaan Paket Data Yang Diterima	Kualitas Paket Data
ON	0.150	Lengkap	Baik
	1.001	Lengkap	Baik
	2.024	Lengkap	Baik
	3.039	Lengkap	Baik
	4.006	Lengkap	Baik
5.28	Lengkap	Baik	
OFF	-	-	-
ON	0.110	Lengkap	Baik
	1.009	Lengkap	Baik
	2.003	Lengkap	Baik
	3.032	Lengkap	Baik
	4.019	Lengkap	Baik
5.009	Lengkap	Baik	

#### **4. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa secara keseluruhan sistem yang dikembangkan layak untuk diterapkan sebagai prototip sistem pemantau sikap dinamik roket. Hal ini dibuktikan berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan memberikan tingkat keberhasilan yang mencapai 100% baik dari segi fungsionalitas, respon serta ketahanan sistem. Selain itu, proses telemetri, *telecommand* dan visualisasi dalam hal ini juga dapat bekerja dengan baik, ditandai dengan tidak terjadinya kecacatan data telemetri, keterlambatan pengiriman data, misinterpretasi visualisasi serta putus koneksi selama pengujian sistem berlangsung.

#### **Daftar Pustaka**

- [1] Anonim. 2013. *Rule Book KOMURINDO 2013 ver.11*. Panitia KOMURINDO 2013: Jakarta.
- [2] S Soediatmo, D. Rahadian, Jalimin. *Rancang Bangun Prototip Payload Pada Roket Uji Muatan*, J. Electrical Engineering. 2 (2011), p. 66-80.
- [3] R. Andiarti, E. Sofyan. *Sistem Kendali Roket Untuk Gerak Unpitching*. J. Teknologi Dirgantara. 4 (2006).
- [4] S. Muhiban. 2011. *Perancangan Attitude Monitoring and Surveillance Payload*. Skripsi. Fakultas Ilmu dan Teknik Komputer, UNIKOM, Bandung.
- [5] G. Pasquale, A. Soma. *Reliability Testing Procedure For MEMS IMU s Applied to Vibrating Environments*. J. Sensors. 10 (2010), p. 456-474.
- [6] H. Hyvonen. 2011. *Thermomechanical and Mechanical Characterization of a 3-Axial MEMS Gyroscope*. Master Thesis. School of Electrical Engineering, Aalto University, Finlandia.