

ANALISIS DATA SENSOR ACCELEROMETER PADA UJI TERBANG ROKET EKSPERIMEN LAPAN TIPE RX-200 (ANALYSIS SENSOR DATA ACCELEROMETER IN FLIGHT TEST ROCKET EXPERIMENT LAPAN TYPE RX-200)

Kurdianto dan Endro Artono

Pusat Teknologi Raket

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Raya LAPAN No. 2, Mekar Sari, Rumpin, Bogor 16350 Indonesia

e-mail: kurdianto@gmail.com

Diterima 29 Oktober 2015; Direvisi 19 November 2015; Disetujui 27 November 2015

ABSTRACT

RX-200 is a ballistic model rocket with diameter of 200 mm. It has a payload in the form of motion sensing sensors-based microprocessor which is equipped with a 6-Degree of Freedom (6-DOF) Inertial Measurement Unit (IMU) and onboard telemetry system using a frequency of 900MHz. RX-200 flying characteristics during flight test can be analyzed from the motion-sensing sensor data received using omni antenna 900MHz and yagi antenna 900 MHz. From analysis of the data received, the rocket is accelerated by up to 19.2G, burning out occurs in 7.09 seconds, at an altitude by *General Position System* (GPS) of 1952 m or 1.9 Km.

Keywords: Accelerometer sensor, Microprocessor, Ground station

ABSTRAK

Roket RX-200 adalah jenis roket model balistik dengan diameter 200mm. Roket ini dilengkapi dengan muatan (*payload*) berupa sensor pengindera gerak berbasis mikroprosesor berupa 6-Degree of Freedom (6-DOF) *Inertial Measurement Unit* (IMU) dan sistem telemetri *onboard* dengan menggunakan frekuensi 900MHz. Karakteristik terbang roket RX-200 saat uji terbang dapat dianalisis dari data sensor pengindera gerak yang diterima menggunakan antenna omni 900MHz dan antenna yagi 900MHz. Dari data yang diterima, roket mengalami percepatan hingga sebesar 19.2G, *burning out* terjadi pada detik ke 7.09, dengan ketinggian terbang roket dari *General Position System* (GPS) mencapai 1952 m atau 1.9 Km.

Kata Kunci: *Sensor Accelerometer, Mikroprosesor, Ground station*

1 PENDAHULUAN

Peluncuran roket eksperimen LAPAN jenis RX-200 ini dilakukan pada Juni 2010 di LAPAN Pameungpeuk, Jawa Barat. Jenis roket ini dinamakan RX-200 memiliki maksud dan tujuan yaitu roket eksperimen berdiameter 200 mm yang dilengkapi dengan 6-Degree of Freedom (6-DOF) *Inertial Measurement Unit* (IMU) berupa sensor accelerometer dan gyroscope serta telemetri sistem di *onboard* maupun di *ground station*. Sehingga jenis roket RX-200 ini memiliki misi untuk menguji sensor-sensor dinamik dan menguji algoritma *flight sequences*.

1.1 Roket RX-200

Gambar berikut adalah roket RX-200 yang telah siap untuk diuji terbang pada sudut elevasi 70°.



Gambar 1-1: Roket RX-200 di *launching pad*

Untuk memperoleh data sensor pada roket RX-200 harus disiapkan pula sistem telemetri di *ground station*. Sistem

telemetri di *ground station* terdiri dari beberapa jenis antenna yang terpasang, diantaranya: antenna omni dan antenna yagi, kedua antenna tersebut memiliki frekuensi sebesar 900 MHz sesuai dengan frekuensi radio yang terpasang pada *payload* roket RX-200 sebagai pengirim data.

Dalam rangka menganalisa data sensor maka penempatan *ground station* terbagi menjadi 2 (dua) lokasi, yaitu di bagian depan (*main ground station*) yang berada 300 meter dari area *launcher* dan di bagian belakang (*secondary ground station*) yang berada 1 km di belakang *launcher*. Lokasi *ground station* tersebut dapat dilihat pada Gambar 1-2.



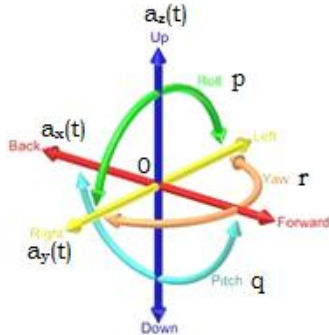
Gambar 1-2: Lokasi *ground station* [<http://www.earth.google.com>]

2 TEORI DASAR

2.1 6-Degree Of Freedom (6-DOF) *Inertial Measurement Unit* (IMU) [Kurdianto, 2014]

IMU yang terdiri dari sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope* memiliki basis berdasarkan koordinat sumbu benda dan koordinat navigasi. Adapun sensor *accelerometer* yang digunakan untuk IMU dalam penelitian ini adalah MMA7260 dan MMA2202.

Keluaran dari *accelerometer* adalah *acceleration* (percepatan: $a_x(t)$, $a_y(t)$, dan $a_z(t)$ dalam meter/detik² dan keluaran *gyroscope* adalah *angular velocity* (kecepatan sudut berupa: p (*roll*), q (*pitch*) dan r (*yaw*) dalam radian/detik.



Gambar 2-1: 6-DOF (6-Degree of Freedom) [Setyasaputra, Nurmajid, 2013]

IMU pada umumnya dapat menghasilkan data antara 1 hingga 200 data/mili detik. Keluaran dari *gyroscope* dimasukkan dalam persamaan Euler dengan menggunakan empat parameter Euler (e_0, e_1, e_2 dan e_3), dan persamaan parameter Quaternion (q_0, q_1, q_2 dan q_3). Persamaan Euler tersebut digantikan dengan persamaan Quaternion, sehingga setiap persamaannya akan digunakan untuk perhitungan, sedangkan persamaan Euler hanya digunakan sebagai langkah awal pada inialisasi penentuan parameter.

Integrasi sudut Euler [Kurdianto, 2014]

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

Parameter Euler dan Quartenion

$$\left. \begin{aligned} \dot{e}_0 &= -\frac{1}{2}(e_1p + e_2q + e_3r) \\ \dot{e}_1 &= \frac{1}{2}(e_0p + e_2r - e_3q) \\ \dot{e}_2 &= \frac{1}{2}(e_0q + e_3p - e_1r) \\ \dot{e}_3 &= \frac{1}{2}(e_0r + e_1q - e_2p) \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$

dengan $e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1$ (2-3)

Sehingga dari persamaan (2-1) sampai (2-3) diperoleh persamaan sudut Euler:

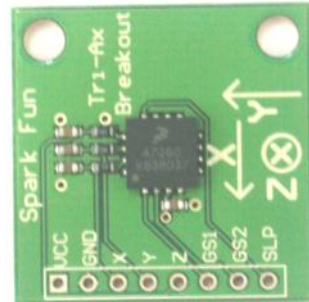
$$\theta = \sin^{-1}[-2(e_1e_3 - e_0e_2)] \quad (2-4)$$

$$\phi = \cos^{-1} \left[\frac{e_0^2 - e_1^2 - e_2^2 + e_3^2}{\sqrt{1 - 4((e_1e_3 - e_0e_2)^2)}} \right] \sin[2(e_1e_2 - e_0e_1)] \quad (2-5)$$

$$\psi = \cos^{-1} \left[\frac{e_0^2 + e_1^2 - e_2^2 + e_3^2}{\sqrt{1 - 4((e_1e_3 - e_0e_2)^2)}} \right] \sin[2(e_1e_2 - e_0e_3)] \quad (2-6)$$

2.2 Sensor Accelerometer MMA7260 (4G)

MMA7260 merupakan sensor *accelerometer* yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi) hingga 2G, dan mengukur percepatan akibat gravitasi [Widada Wahyu, 2009]. Sensor *accelerometer* mengukur percepatan dari 3 sumbu (axis) gerakan akibat gerakan benda yang melekat padanya [Pedley M, 2013]. Tiga sumbu tersebut terdiri dari sumbu x, y dan z. Nilai tegangan *input* pada sensor ini sebesar 3 volt.



Gambar 2-2: Sensor MMA7260 [http://www.sparkfun.com]

2.3 Sensor Accelerometer MMA2202 (50G)

MMA2202 merupakan sensor *accelerometer* yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi) hingga 50G, dan mengukur percepatan akibat gravitasi [Widada Wahyu, 2007]. Sensor *accelerometer* mengukur percepatan dari 1 sumbu (axis) gerakan akibat gerakan benda yang melekat padanya. Satu sumbu tersebut terdiri dari sumbu x. Nilai tegangan *input* pada sensor ini sebesar 5 volt.



Gambar 2-3 : Sensor MMA2202 [RoHs,]

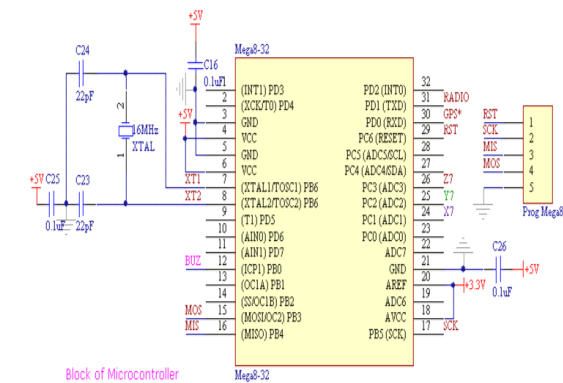
3 DESAIN DAN REALISASI

3.1 Desain *Print Circuit Board* (PCB)

Untuk membuat desain PCB maka terlebih dahulu merancang rangkaian skematiknya yang menggunakan program DXP/*Protel Electronic*. Desain skematik dilakukan pada tiap blok sistem agar memudahkan dalam merancang penempatan komponen elektronik.

3.1.1 Blok sistem mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada blok sistem ini adalah ATMEGA32 yang merupakan keluaran dari ATMEL serta mempunyai arsitektur *Reduce Instruction Set Computer* (RISC) yang setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur *Completed Instruction Set Computer* (CISC) [Pack D., Barrett S., 2012]. Mikroprosesor ATMEGA 32 memiliki tegangan input sebesar 5 Volt.



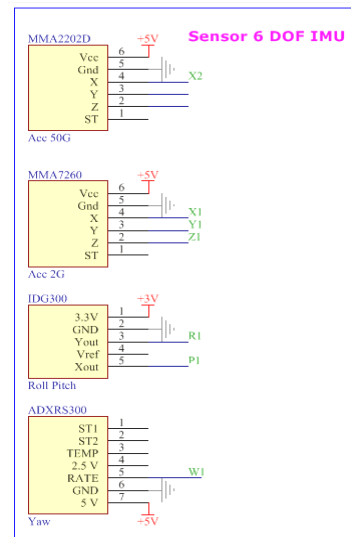
Gambar 3-1: Skematik blok sistem mikrokontroler

3.1.2 Blok sistem sensor [Mitchell H, 2012]

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor *accelerometer* MMA7260, sensor *accelerometer* MMA2202, sensor *gyroscope* IDG300 serta sensor *gyroscope* ADXRS300.

Masing-masing sensor memiliki karakteristik tegangan *input*-nya. Untuk sensor *accelerometer* MMA7260 memiliki tegangan *input* sebesar 3 volt dan daya tahan vibrasi 2G. Sedangkan untuk sensor *accelerometer* MMA2202 memiliki tegangan *input* sebesar 5 volt dan daya tahan vibrasi 50G. Sensor *gyroscope* IDG300 memiliki tegangan *input* sebesar 3 volt. Sedangkan sensor *gyroscope*

ADXRS300 memiliki tegangan *input* sebesar 5 volt.

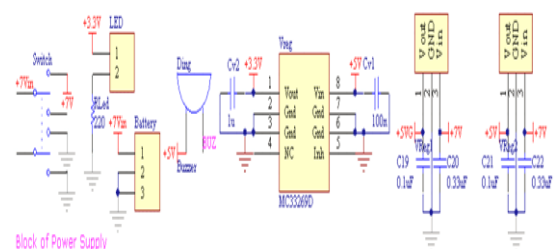


Gambar 3-2: Skematik blok sistem sensor

Cara kerja dari rangkaian ini adalah setelah mendapatkan tegangan sebesar 5 volt dan 3 volt maka masing-masing sensor mengeluarkan data yang sudah diprogram melalui rangkaian *main board*. Agar mendapatkan keluaran sinyal yang bagus maka dipasang rangkaian *filter* pada masing-masing sensor.

3.1.3 Blok sistem *power supply*

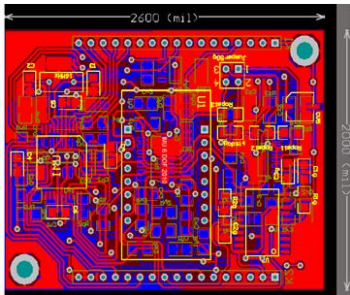
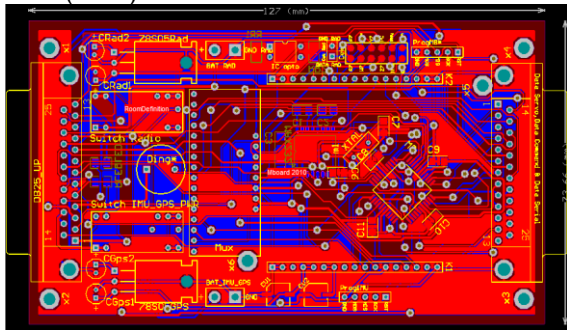
Blok ini berfungsi sebagai sumber tegangan berupa *Direct Current* (DC). Tegangan masukan berupa DC *power* cukup sebesar 7 volt, kemudian tegangan masukan itu mengalir ke rangkaian serial data sebesar 5 Volt serta tegangan masukan itu juga mengalir ke rangkaian *output* dari rangkaian tersebut dikirim melalui radio yang berfungsi sebagai transmitter (mengirim data). Berikut gambar skematik pada blok ini:



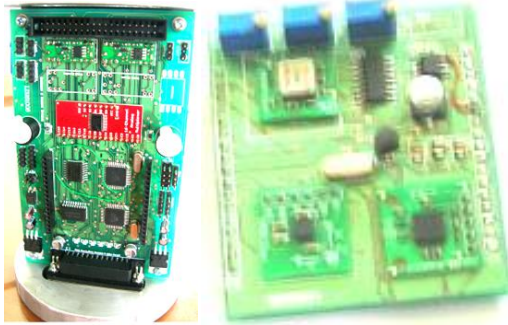
Gambar 3-3: Skematik blok sistem *power supply*

3.2 Realisasi Desain PCB

Realisasi desain PCB ini adalah proses pemasangan komponen elektronik sesuai rangkaian skematik yang telah di desain sebelumnya. Gambar 3-4 dan 3-5 menampilkan hasil desain PCB muatan roket berupa sensor pengindera gerak yang dilengkapi dengan *6-Degree of Freedom (6-DOF) Inertial Measurement Unit (IMU)*.



Gambar 3-4: Desain PCB layout



Gambar 3-5: Desain PCB 6-DOF IMU

4 GROUND STATION (GS) [Kurdianto, 2014]

Ground station merupakan tempat untuk merekam data muatan roket saat uji terbang.

Payload yang sudah terintegrasi dan siap untuk dilakukan uji terbang serta sistem *ground station* yang sudah terpasang merupakan paket dalam persiapan uji terbang.

Sistem yang terpasang pada *ground station* terdiri dari: Sistem

telemetri, sistem *receiver* data serta sistem *control*.

Pada uji terbang roket RX-200 ini memiliki 2 (dua) *ground station* dengan tempat dan jarak yang berbeda. Hal ini dilakukan agar dapat menerima data *payload* roket RX-200 dari berbagai posisi.

Sistem telemetri terdiri dari: antena yagi dan antena omni, kabel data antena yagi dan kabel data antena omni disertai konektornya masing-masing yang terhubung antara antena dengan sistem *receiver* data. Gambar 4-1 menampilkan pemasangan sistem telemetri.



Gambar 4-1: Pemasangan sistem telemetri

Sistem *receiver* data terdiri dari: *Receiver data box, laptop, power supply*. Sistem ini berfungsi untuk merekam data *payload* saat uji terbang. Sehingga dapat diketahui karakter dan gerakan roket saat terbang.

Sistem kontrol terdiri dari: *Firing box, layar TV, power supply*. Sistem ini berfungsi untuk mengontrol seluruh persiapan uji terbang dan meluncurkan roket bila sudah siap semua sistem. Gambar 4-2 menampilkan pemasangan sistem di *ground station* yang telah disiapkan sebelum dilakukan uji terbang.



Gambar 4-2: *Ground station* di LAPAN Pameungpeuk

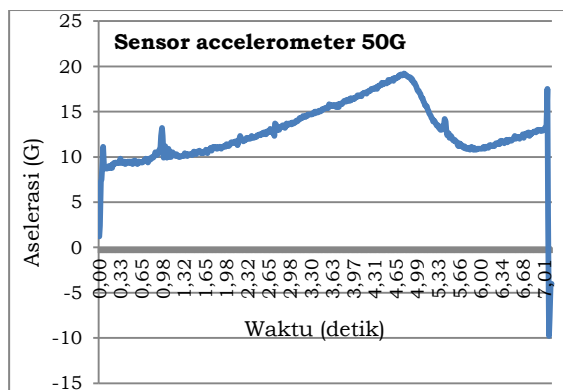
5 HASIL DAN ANALISA UJI TERBANG ROKET EKSPERIMEN RX-200

Seperti disampaikan sebelumnya terkait *ground station* yang terpasang pada uji terbang ini terdiri dari 2 (dua) tempat yaitu GS yang terpasang di posisi dekat launcher area yang menggunakan antenna omni dan GS yang terpasang di posisi gedung radar (jaraknya 1 KM dari belakang launcher area). Dengan demikian data *payload* yang diperoleh oleh sistem *receiver* data adalah dua data *ground station*.

Berikut adalah hasil data *payload* pada uji terbang roket eksperimen RX-200:

5.1 Data Sensor Aselerasi 50G Sumbu X

Data aselerasi dari sensor *accelerometer* 50G pada sumbu X dapat dilihat pada Gambar 5-1.



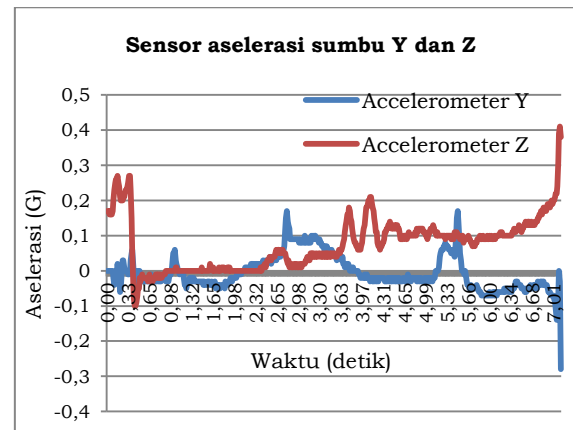
Gambar 5-1: Grafik Data aselerasi dari sensor *accelerometer* 50G pada sumbu X

Dari grafik tersebut terlihat, bahwa *ground station* hanya menerima data roket terbang hingga 7.13 detik. Aselerasi tertinggi terjadi pada detik ke 4.78 dengan besar aselerasi hingga 19.2 G. Pada detik ke 7.07, terjadi lonjakan aselerasi yang besar, dengan perubahan aselerasi sebesar 4.1 G dalam waktu 0.02 detik. Pada detik berikutnya juga terjadi perubahan aselerasi yang sangat besar dengan arah negatif (terjadi perlambatan), -27.27 G, dalam waktu 0.03 detik. Dengan perubahan selerasi yang sedemikian besar pada kurun waktu yang sangat singkat, hal ini

menunjukkan terjadi gangguan yang sangat signifikan pada roket. Hal ini pula yang kemungkinan menjadi penyebab terputusnya data transmisi muatan pada detik ke 7.13.

5.2 Data Sensor Aselerasi 4G Sumbu Y dan Z

Gambar 5-2, grafik data aselerasi dari sensor *accelerometer* 4G pada sumbu Y dan Z:



Gambar 5-2: Grafik Data aselerasi dari sensor *accelerometer* 4G pada sumbu Y dan Z

Dari grafik tersebut dapat dilihat sejak awal roket terbang hingga detik ke 7, nilai aselerasi pada sumbu Y dan Z tidak terlalu besar, berkisar dari 0 hingga 0.25 G. Dengan nilai tersebut, menggambarkan bahwa roket terbang dengan normal. Namun setelah melewati detik ke 7.05, data menunjukkan terjadi kenaikan aselerasi pada kedua arah sumbu.

6 KESIMPULAN

Dari data sensor pengindera gerak berupa sensor *accelerometer* MMA7260 dan MMA2202 yang diterima oleh *ground station* dapat digunakan untuk mengetahui gerak roket saat dilakukan uji terbang.

Dari data *accelerometer* dapat diketahui bahwa roket mengalami percepatan maksimal hingga 19,2G. Dari *General Position System* (GPS) dengan ketinggian terbang roket RX-200 pada data terakhir yang diterima diketahui mencapai 1952 m atau 1.9 Km.

Roket mengalami anomali/ketidastabilan gerakan pada detik ke 7.07, sehingga mengakibatkan terputusnya data *payload* roket pada detik ke 7.13.

Setelah terputusnya data *payload* roket, maka gerak roket tidak dapat diketahui lagi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Herma Yudhi Irwanto sebagai peneliti madya dan seluruh tim bidang kendali serta tim peluncuran uji terbang roket LAPAN.

DAFTAR RUJUKAN

- <http://www.earth.google.com> diakses pada 2 Maret 2010.
- <http://www.sparkfun.com> diakses pada 9 Maret 2010.
- Kurdianto, 2014. *Analisa Sistem Penerima Data Muatan Roket LAPAN Berbasis Maxstream 900MHz*, SIPTEKGAN XVIII - LAPAN.
- Kurdianto, 2014. *Pengujian Sistem Muatan Pada Roket Eksperimen LAPAN Jenis RKX-100, RTX-100 and RWX-200*, Jurnal Teknologi Dirgantara - LAPAN.
- Kurdianto, 2014. *Testing Payload System in Rocket Experimen LAPAN Type RKX-100, RTX-100 and RWX-200*, Journal of Aerospace Technology - LAPAN.
- Mitchell H, *Sensor Management. Book of Data Fusion: Concepts and Ideas 2012*. ISBN : 978-3-642-27221-9, 978-3-642-27222-6.
- Pack D., Barrett S., 2012. *Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing, Second Edition*. Publication of Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems, ISBN : 9781598295412.
- Pedley M., 2013. *Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer*, Journal of Freescale Semiconductor Application Notes.
- RoHs, *Data sheet MMA2202, MMA7260, IDG300 and ADXRS300*.
- Setyasaputra, Nurmajid, 2013. *Design and Implementation of Flight Controller Using IMU 6-DOF and Quaternion Method For Aero Robot Application*, Jurnal Teknologi Dirgantara - LAPAN.
- Widada Wahyu., Hadi P.Sasongko., Susanto Adhi, Wahyudi, 2009. *Penentuan Faktor Kalibrasi Accelerometer MMA7260Q Pada Ketiga Sumbu*, Transmisi-Jurnal Teknik Elektro, Jilid 11, Nomor 1, Maret.
- Widada Wahyu., Wiryadinata Romi, 2007. *Development of Inertial Navigation System for Guided Rocket Flight Test*, SIPTEKGAN XI 2007.

