

Pemanfaatan 3 axis Gyroscope L3G4200D untuk pengukuran Sudut Muatan Roket

Mochammad Rif'an, Waru Djuriatno, Nanang Sulistiyanto, Ponco Siwindarto, M Aswin dan Vita Nurdinawati

Abstrak— Kompetisi Muatan Roket Indonesia tingkat perguruan tinggi (KOMURINDO) merupakan suatu ajang kompetisi yang diselenggarakan Dirjen DIKTI bekerjasama dengan LAPAN setiap setahun sekali dengan tujuan memupuk rasa cinta teknologi dirgantara. Di kompetisi ini seluruh mahasiswa universitas di Indonesia berlomba membuat muatan roket dengan tema berbeda setiap tahunnya. Tema KOMURINDO 2012 adalah *attitude monitoring and surveillance payload* artinya roket mampu melakukan penginderaan dinamik, mengambil dan mengirim data *surveillance* berupa foto melalui udara. Penelitian ini membahas *attitude monitoring* berupa sudut orientasi. Penelitian ini bertujuan membuat suatu alat untuk memantau sudut orientasi muatan roket.

Sistem ini terdiri atas 3-axis gyroscope L3G4200D, mikrokontroler, serial konverter dan komputer. Sistem melakukan pembacaan sinyal dengan waktu *sampling* 20ms. Data keluaran modul sensor 3 axis gyroscope L3G4200D berupa data mentah kecepatan sudut. Data tersebut harus diolah terlebih dahulu menjadi data sudut orientasi dengan tipe data float kemudian dikirimkan ke komputer. Pengujian menunjukkan alat dapat berfungsi dengan baik mengukur sudut orientasi dengan selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 3%. Selisih sudut minimum 0.088° dan selisih sudut maksimum 6.595°.

Kata Kunci— Sensor gyroscope, 3-Axis Gyroscope, Sudut Orientasi.

I. PENDAHULUAN

ROKET merupakan salah satu wahana dirgantara yang memiliki makna startegis. Wahana ini mampu digunakan untuk melaksanakan misi perdamaian maupun pertahanan, misalnya sebagai Roket Peluncur Satelit (RPS), roket penelitian cuaca, roket kendali, dan lain-lain. Dengan kata lain, roket juga bisa berfungsi sebagai peralatan untuk menjaga kedaulatan dan meningkatkan martabat bangsa, baik di darat, laut maupun di udara sampai dengan antariksa. Oleh karena itu, negara yang menguasai kemandirian teknologi

Mochammad Rif'an adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email rifan@ub.ac.id)

Waru Djuriatno adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Nanang Sulistiyanto adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Ponco Siwindarto adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

M Aswin MT adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Vita Nurdinawati adalah Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

peroketan dengan baik, akan disegani oleh negara-negara lain di seluruh dunia. Hal ini sesuai dengan tujuan diselenggarakan Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO) oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) untuk menumbuh kembangkan rasa cinta teknologi dirgantara masyarakat Indonesia umumnya dan mahasiswa khususnya

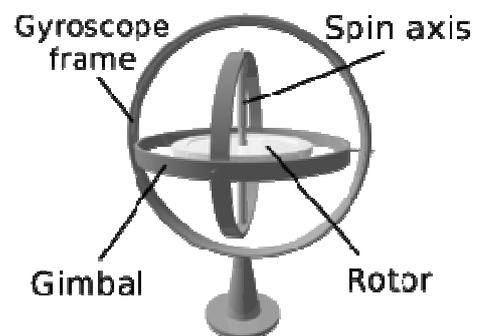
Tema KOMURINDO 2012 adalah *attitude monitoring and surveillance payload* artinya roket mampu melakukan penginderaan dinamik, mengambil dan mengirim data *surveillance* berupa foto melalui udara. Tema ini sama dengan tema KOMURINDO tahun lalu. Penelitian ini membahas sebagian sistem *attitude monitoring* yakni memantau sudut orientasi muatan roket yang diukur dengan *gyroscope*.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mengukur sudut orientasi muatan roket menggunakan data keluaran 3 axis gyroscope L3G4200D

II. TINJAUAN PUSTAKA

Gyroscope

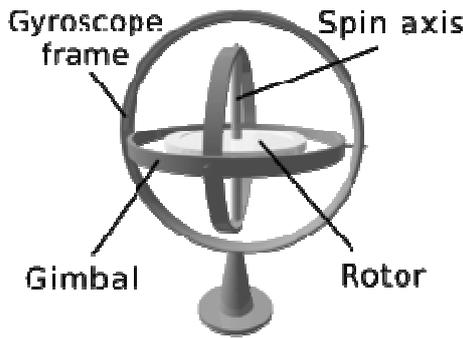
Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), *gyroscope* adalah alat berupa cakram yang sumbunya berputar antara dua penopang dan tetap dalam posisinya apabila tidak ada pengaruh kekuatan luar; alat pengendali roket.



Gambar. 1. Three Axis Mechanical Gyroscope

Gyroscope digunakan untuk mengukur orientasi berdasarkan prinsip momentum sudut. *Gyroscope* konvensional adalah *mechanical gyroscope*. *Mechanical gyroscope* terdiri atas sebuah piringan (rotor) yang berputar di sumbu putar. Sumbu putar ini terpasang di suatu kerangka yang disebut *gimbal*. Jumlah *gimbal* menentukan jumlah *axis gyroscope*. *Gyroscope* yang memiliki satu *gimbal* hanya dapat berputar dengan satu

poros, *gyroscope* yang memiliki dua *gimbal* dapat berputar dengan dua poros, dan *gyroscope* yang memiliki tiga *gimbal* dapat berputar dengan tiga poros.



Gambar. 2. Presesi Gyroscope (3)

3 axis gyroscope terdapat gimbal dalam yang terpasang di gimbal tengah. Gimbal tengah terpasang di gimbal luar. Dengan tiga gimbal, gyroscope dapat berputar di tiga sumbu namun rotor akan selalu tetap di posisinya [1]. Three axis mechanical gyroscope ditunjukkan dalam Gambar 1.

Prinsip rotor gyro adalah kekakuan dalam ruang atau inersia giroskopik. Hukum pertama Newton menyatakan jika gaya total suatu benda sama dengan nol, maka gerak benda tidak akan. $\sum F = 0$ (dalam kesetimbangan). Rotor berputar dalam gyroscope mempertahankan sikap konstan dalam ruang selama tidak ada gaya luar yang mengubah gerakannya. Stabilitas ini meningkat jika rotor memiliki massa yang besar dan kecepatan.

Karakteristik lain gyroscope adalah presesi. Presesi adalah gerakan memiringkan atau berputar terhadap sumbu gyroscope sebagai akibat gaya yang diterapkan. Ketika sebuah gaya diterapkan di tepi rotor gyroscope yang stasioner, maka rotor akan bergerak dalam arah yang sama dengan gaya tersebut. Namun ketika rotor berputar, gaya yang sama mengakibatkan rotor bergerak ke arah yang berbeda seolah-olah gaya diterapkan di titik 90° di sekitar lingkaran dalam arah rotasi. Presesi gyroscope ditunjukkan dalam Gambar 2.

Perilaku gyroscope ditunjukkan dalam Pers.(1).

$$\tau = \frac{dL}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt} = I\alpha \quad (1)$$

dengan:

- τ = torsi
- L = momentum sudut
- I = momen inersia
- ω = kecepatan sudut
- α = percepatan sudut

Prinsip inilah yang digunakan dalam sensor gyroscope. Gyroscope mengukur kecepatan sudut kerangka acuan inersia. Sudut orientasi berupa gerak guling, angguk, dan geleng didapatkan dengan mengintegrasikan kecepatan sudut.[2]

Gyroscope berbeda dengan accelerometer dan kompas. Accelerometer mengukur gerakan linier dengan acuan gravitasi. Accelerometer dapat memberikan pengukuran sudut kemiringan (tilt) akurat ketika suatu sistem dalam keadaan diam (statis). Saat sistem tersebut

berotasi atau bergerak, accelerometer tidak dapat mengikuti pergerakan yang cepat dikarenakan responnya lambat dan memiliki noise [3], sehingga tidak dapat digunakan untuk pengukuran sudut orientasi dalam KOMURINDO. Sedangkan kompas mengukur gerakan linier dengan acuan medan magnet bumi. Kompas dapat mengukur gerak geleng atau arah mata angin namun tidak dapat mengukur gerak, guling dan angguk.

Keluaran gyroscope berupa data kecepatan sudut. Kecepatan sudut adalah besaran vektor yang menyatakan frekuensi sudut suatu benda dan sumbu putarnya. Satuan SI untuk kecepatan sudut adalah radian per detik, meskipun dapat diukur pula menurut derajat per detik, rotasi per detik, derajat per jam, dan lain-lain.

Data berupa kecepatan sudut kemudian digunakan untuk menghitung besar sudut orientasi. Besarnya sudut orientasi dapat diperoleh Persamaan (2)

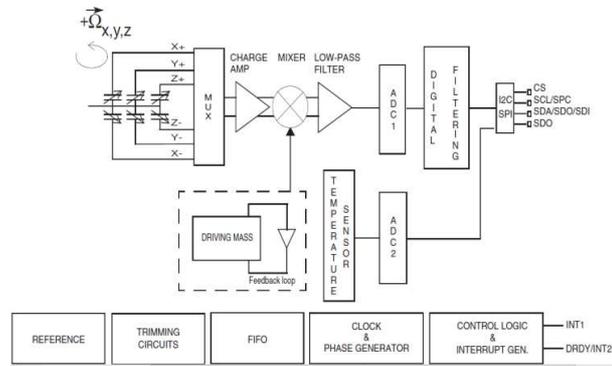
$$\theta = \theta_0 + \omega t \quad (2)$$

dengan

- θ = sudut yang terbentuk (°)
- θ_0 = sudut awal yang terbentuk (°)
- ω = kecepatan sudut (°/s)
- t = waktu tempuh (s)

Modul Sensor Gyroscope L3G4200D

Modul sensor gyroscope L3G4200D dapat digunakan untuk mengukur tiga sumbu yaitu sumbu x, y, dan z. Modul sensor ini mampu bekerja hingga percepatan 10000 kali percepatan gravitasi bumi, dan mampu mengukur kecepatan sudut dalam tiga pilihan skala penuh yaitu 250 dps, 500 dps, 2000 dps, karena itulah modul sensor ini sesuai dengan muatan roket KOMURINDO.



Gambar. 3. Diagram Blok L3G4200D (6)

Output modul sensor adalah data kecepatan sudut dalam bentuk digital 16 bit dan data temperatur 8 bit. Tegangan catu yang dibutuhkan antara 2.4 V sampai 3.6 V. Modul sensor L3G4200D memiliki 16 pin yang mempunyai fungsi masing-masing. Diagram blok modul sensor ditunjukkan dalam Gambar 3.

Gyroscope yang digunakan adalah modul gyroscope L3G4200D buatan ST Microelectronics. Modul ini telah dilengkapi rangkaian LPF dan resistor pull up.

III. METODE PENELITIAN

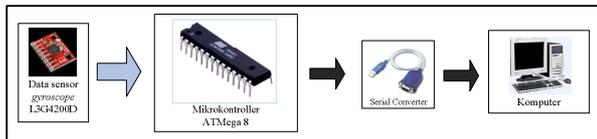
Metode penelitian yang digunakan diuraikan dalam beberapa langkah sebagai berikut:

- Penentuan spesifikasi alat
- Desain hardware dan software
- Pengujian dan analisis

Berikut adalah uraian dari masing-masing langkah penelitian tersebut.

A. Desain Hardware dan Software

Dalam perancangan dan perealisasiian alat membahas tentang diagram blok, perencanaan perangkat keras dan perencanaan perangkat lunak.



Gambar. 4. Diagram Blok Sistem

Diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 4 menjelaskan diagram blok sistem. Output modul sensor *gyroscope* L3G4200D berupa data digital 16 bit. Data ini kemudian diproses oleh mikrokontroler. Mikrokontroler diprogram untuk dapat mengumpulkan data modul sensor *gyroscope* L3G4200D, proses kalibrasi, dan mengolah data agar. Kemudian data berupa sudut orientasi dikirimkan ke komputer melalui serial converter

Perencanaan perangkat keras meliputi meliputi perencanaan rangkaian catu daya, rangkaian sistem elektronik keseluruhan dan kerangka muatan roket.

- Modul Sensor Gyroscope

Dalam perancangan diinginkan:

- Alamat modul sensor gyroscope L3G4200D 11010001 untuk proses baca dan 11010000 untuk proses tulis.
- Modul sensor bekerja mode normal.
- Modul sensor mampu mengukur kecepatan sudut sumbu x, y, dan z.
- Frekuensi output 100 Hz dengan *cut off* LPF1 12.5 Hz.
- Mode konfigurasi HPF adalah mode normal dengan *cut off* LPF1 8 Hz.
- Tidak menggunakan *interrupt*.
- Output register tidak diubah sampai MSB dan LSB terbaca.
- Data LSB di alamat yang lebih kecil.
- Skala penuh sebesar 250 dps.

TABEL I
PENGATURAN REGISTER GYROSCOPE

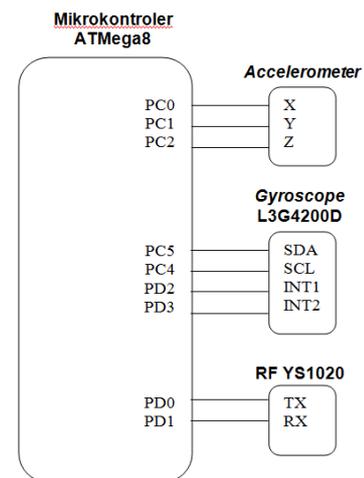
| Nama Register | Nilai |
|---------------|----------|
| WHO_AM_I | 11010001 |
| CTRL_REG1 | 00001111 |
| CTRL_REG2 | 00100000 |
| CTRL_REG3 | 00000000 |
| CTRL_REG4 | 10000000 |
| CTRL_REG5 | 00100000 |
| STATUS_REG | 10001000 |

Sehingga register-register *gyroscope* L3G4200D diatur sesuai dengan Tabel I.

- Rangkaian Mikrokontroler

Perencanaan pin-pin mikrokontroler ATmega8 dijelaskan dalam diagram blok rangkaian

mikrokontroler yang ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar. 5. Diagram Blok Rangkaian Mikrokontroler

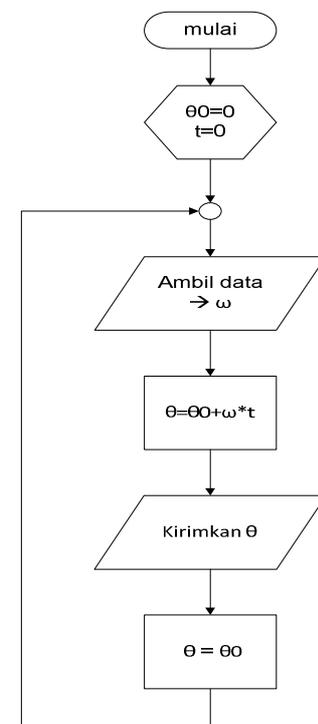
Reset yang digunakan adalah *power on reset* yang bekerja ketika tegangan catu di bawah *power on reset threshold* (V_{pot}) yang memiliki tegangan tipikal sebesar 1.4 V.

Clock yang digunakan adalah *clock* eksternal mikrokontroler ATmega 8 sebesar 16 MHz sehingga mengatur *fuse bit* seperti ditunjukkan dalam Tabel II.

TABEL II
PENGATURAN FUSE BIT

| No | Fuse bit |
|----|------------|
| 1 | CKSEL 3..0 |
| 2 | CKOPT |
| 3 | SUT 1..0 |

B. Perencanaan Perangkat Lunak



Gambar 6. Diagram Alur Perencanaan Perangkat Lunak

Data yang dikirimkan modul sensor *gyroscope* L3G4200D menggunakan I2C melalui serial converter

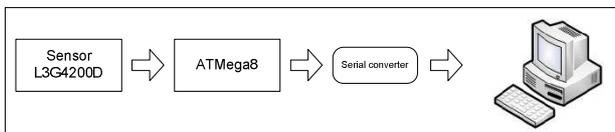
adalah data berupa kecepatan sudut, untuk merubahnya menjadi data sudut orientasi dengan menggunakan persamaan ditunjukkan dalam Persamaan 2. Diagram alur perencanaan perangkat lunak ditunjukkan dalam Gambar 6.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

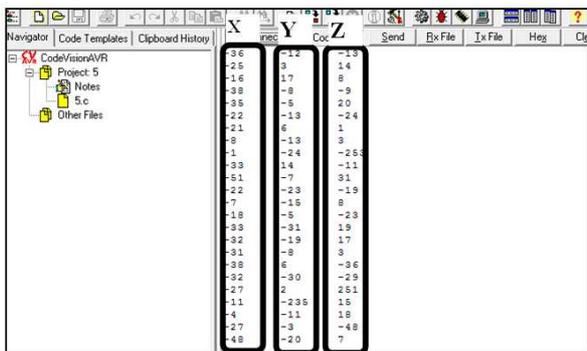
Pengujian dilakukan di tiap-tiap blok dengan tujuan untuk mengamati apakah tiap blok rangkaian sudah sesuai dengan perancangan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian keseluruhan sistem.

A. Pengujian 3-Axis Gyroscope L3G4200D

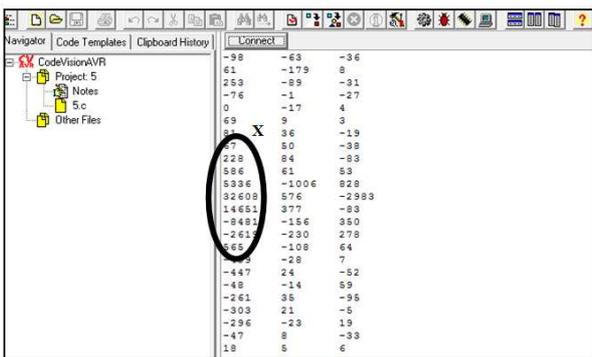
Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah modul sensor gyroscope L3G4200D dapat berfungsi dengan baik mendeteksi perubahan kecepatan sudut.



Gambar 7. Diagram Blok Pengujian Modul Sensor



Gambar 8. Data Mentah Modul Sensor Masing-masing Sumbu saat Kondisi Diam

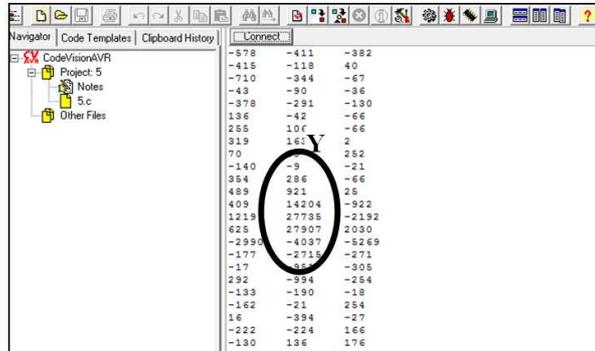


Gambar 9. Data Mentah Modul Sensor saat Pergerakan Angguk

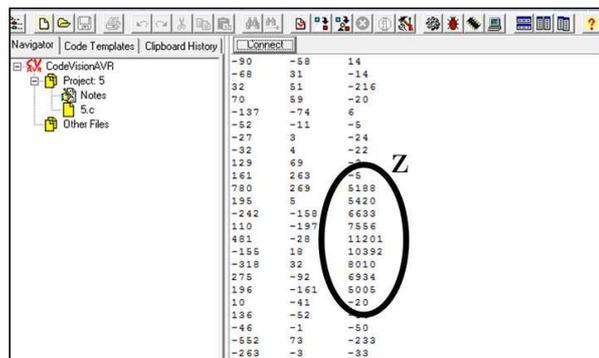
Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian seperti diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 7. Pengambilan data modul sensor menggunakan perangkat I²C yang telah terdapat dalam fitur ATmega8. Data kecepatan sudut yang terukur dikirimkan ke komputer melalui perangkat serial converter RS-232. Kemudian data tersebut diamati dan dicatat untuk dianalisa.

Data mentah modul sensor masing-masing sumbu saat kondisi diam ditunjukkan dalam Gambar 8. Data

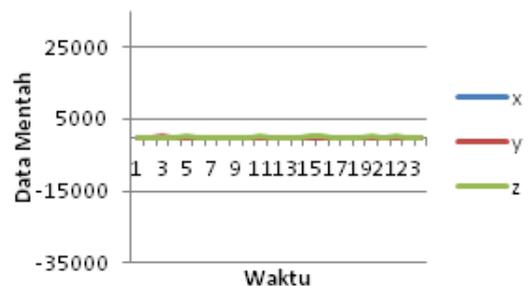
mentah modul sensor masing-masing sumbu saat pergerakan angguk ditunjukkan dalam Gambar 9. Data mentah modul sensor masing-masing sumbu saat pergerakan guling ditunjukkan dalam Gambar 10. Data mentah modul sensor masing-masing sumbu saat pergerakan geleng ditunjukkan dalam Gambar 11.



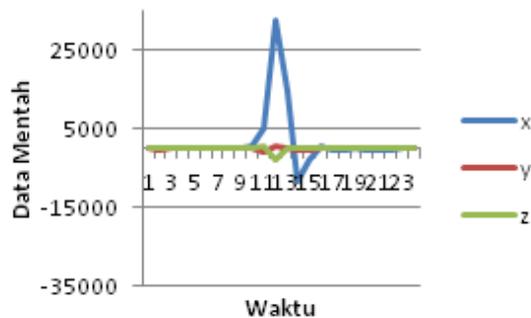
Gambar 10. Data Mentah Modul Sensor saat Pergerakan Guling



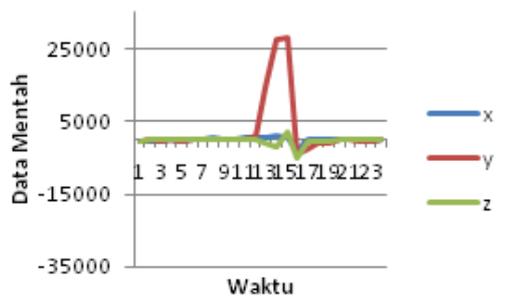
Gambar 11. Data Mentah Modul Sensor saat Pergerakan Geleng



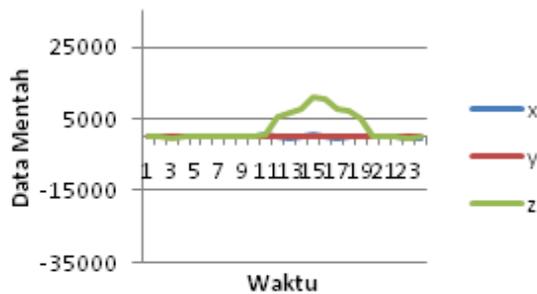
Gambar 12. Grafik Data Mentah Modul Sensor saat Diam



Gambar 13. Grafik Data Mentah Modul Sensor saat Pergerakan Angguk



Gambar 14. Grafik Data Mentah Modul Sensor saat Pergerakan Guling



Gambar 15. Grafik Data Mentah Sensor saat Pergerakan Geleng

Grafik pengujian data mentah modul sensor saat diam ditunjukkan dalam Gambar 12, data mentah modul sensor saat pergerakan angguk ditunjukkan dalam Gambar 13, data mentah modul sensor saat pergerakan guling ditunjukkan dalam Gambar 14, data mentah modul sensor saat pergerakan geleng ditunjukkan dalam Gambar 15.

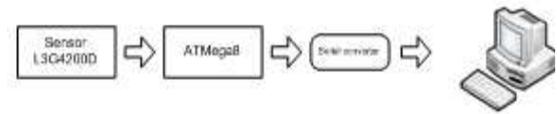
Gerak angguk adalah gerak berputar dengan poros sumbu x sensor. Gerak guling adalah gerak berputar dengan poros sumbu y sensor. Gerak geleng adalah gerak berputar dengan poros sumbu z sensor.

Data mentah yang dikirimkan modul sensor *gyroscope* adalah data kecepatan sudut 16 bit dalam rentang antara 0000h sampai FFFFh. 0000h sampai 7FFFh untuk bilangan positif dan 8000h sampai FFFFh untuk bilangan negatif dengan tipe data *signed integer* dalam format komplemen dua.

Data kecepatan sudut modul sensor sumbu x (angguk), sumbu y (guling), dan sumbu z (geleng) saat kondisi diam idealnya adalah nol, namun saat pengujian yang ditunjukkan dalam Gambar 12 tidak demikian, hal ini disebabkan oleh *noise gyroscope*.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan dalam Gambar 13, tampak bahwa modul sensor *gyroscope* L3G4200D dapat bekerja dengan baik mendeteksi kecepatan sudut. Hal tersebut dapat dilihat di pengujian modul sensor saat bergerak. Saat bergerak angguk, terjadi perubahan kecepatan sudut di sumbu x seperti ditunjukkan dalam Gambar 13, Saat bergerak guling, terjadi perubahan kecepatan sudut di sumbu y seperti ditunjukkan dalam Gambar 14, Saat bergerak geleng, terjadi perubahan kecepatan sudut di sumbu z seperti ditunjukkan dalam Gambar 15. Saat kondisi bergerak, data mentah kecepatan sudut dalam rentang 16 bit yakni antara -32767 sampai 32767. Data-data mentah tersebut akan diolah untuk menghasilkan kecepatan sudut yang sebenarnya dalam satuan dps (*degree per sekon*).

B. Pengujian Keseluruhan



Gambar 1. Diagram Blok Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan bertujuan untuk menganalisis kemampuan sistem di muatan roket dalam mengukur sudut orientasi.

Pengujian ini dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaian sesuai diagram blok dalam Gambar 16. Busur derajat digunakan sebagai acuan untuk membandingkan besarnya sudut orientasi *gyroscope*. Saat kondisi awal, sistem muatan roket diletakkan sudut 0° lalu diputar hingga sudut-sudut tertentu dengan bantuan busur derajat. Data sudut orientasi yang terukur dikirimkan ke komputer melalui perangkat *serial converter* RS-232. Kemudian data tersebut diamati dan dicatat untuk dianalisa.

untuk masing-masing sudutnya orientasinya. Setelah diperoleh sudut terukur, dicari selisih nilai sudut terukur dengan nilai sudut acuan. Kemudian diperoleh nilai rata-rata selisih sudut dalam persen (%) untuk masing-masing sumbu.

Berdasarkan hasil pengujian gerak angguk ditunjukkan dalam Tabel III, selisih dengan sudut acuan rata-rata sebesar 1.750%, kesalahan minimum terdapat di pengujian -135° dengan selisih 0.360° dan kesalahan maksimum terdapat di pengujian 180° dengan selisih 4.807° .

TABLE III
TABEL PENGUJIAN GERAK ANGGUK

| Data ke- | Sudut Acuan ($^\circ$) | Rata-rata Sudut terukur ($^\circ$) | Selisih | |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|--------------|-------|
| | | | ($^\circ$) | (%) |
| 1 | 45 | 45.855 | 0.855 | 1.900 |
| 2 | -45 | -44.350 | 0.650 | 1.444 |
| 3 | 90 | 88.625 | 1.375 | 1.528 |
| 4 | -90 | -86.110 | 3.890 | 4.322 |
| 5 | 135 | 135.410 | 0.410 | 0.304 |
| 6 | -135 | -134.640 | 0.360 | 0.267 |
| 7 | 180 | 175.130 | 4.870 | 2.706 |
| 8 | -180 | -177.240 | 2.760 | 1.533 |
| Rata-rata | | | 1.750 | |

TABLE IV
TABEL PENGUJIAN GERAK GULING

| Data ke- | Sudut Acuan ($^\circ$) | Rata-rata Sudut terukur ($^\circ$) | Selisih | |
|-----------|--------------------------|--------------------------------------|--------------|-------|
| | | | ($^\circ$) | (%) |
| 1 | 45 | 44.912 | 0.088 | 1.906 |
| 2 | -45 | -43.180 | 1.820 | 4.044 |
| 3 | 90 | 87.858 | 2.142 | 2.308 |
| 4 | -90 | -85.310 | 4.690 | 5.211 |
| 5 | 135 | 132.394 | 2.606 | 1.930 |
| 6 | -135 | -133.660 | 1.340 | 0.993 |
| 7 | 180 | 172.997 | 7.003 | 3.891 |
| 8 | -180 | -178.123 | 1.877 | 1.043 |
| Rata-rata | | | 2.461 | |

Berdasarkan hasil pengujian gerak guling ditunjukkan

dalam Tabel IV, selisih dengan sudut acuan rata-rata sebesar 2.461%, kesalahan minimum terdapat di pengujian 45° dengan selisih 0.088° dan kesalahan maksimum terdapat di pengujian -90° dengan selisih 4.690°.

TABLE V
TABEL PENGUJIAN GERAK GELENG

| Data ke- | Sudut Acuan (°) | Rata-rata Sudut terukur (°) | Selisih | |
|-----------|-----------------|-----------------------------|---------|-------|
| | | | (°) | (%) |
| 1 | 45 | 44.400 | 0.600 | 1.333 |
| 2 | -45 | -45.525 | 0.525 | 1.167 |
| 3 | 90 | 91.493 | 1.492 | 1.658 |
| 4 | -90 | -93.720 | 3.720 | 4.133 |
| 5 | 135 | 140.420 | 5.420 | 4.015 |
| 6 | -135 | -140.555 | 5.555 | 4.115 |
| 7 | 180 | 186.595 | 6.595 | 3.664 |
| 8 | -180 | -185.930 | 5.930 | 3.294 |
| Rata-rata | | | 2.992 | |

Berdasarkan hasil pengujian gerak geleng ditunjukkan dalam Tabel V, selisih dengan sudut acuan rata-rata sebesar 2.992%, kesalahan minimum terdapat di pengujian -45° dengan selisih 0.525° dan kesalahan maksimum terdapat di pengujian -180° dengan selisih 6.595°.

Dalam perhitungan sudut orientasi terdapat nilai kecepatan sudut dan waktu. Untuk mendapatkan data sudut orientasi yang presisi, diperlukan pengukur kecepatan sudut dan pengukur waktu yang presisi. Pengukur kecepatan sudut adalah *gyroscope* L3G4200 sedangkan pengukur waktu adalah *timer*

Sesuai dengan hukum newton II, gaya dan percepatan berbanding lurus, jika semakin besar gaya yang mengenai benda maka semakin besar percepatan yang dialami benda. Demikian pula sebaliknya, jika semakin besar percepatan yang dialami benda maka semakin besar gaya yang mengenai benda. Saat keadaan awal muatan roket berada di sudut tertentu kemudian digerakkan hingga berhenti di sudut tertentu, kondisi akhir ideal adalah kecepatan sudut sama dengan nol. Namun dalam kondisi sebenarnya saat berhenti, kecepatan sudut tidak seketika berubah menjadi nol melainkan membutuhkan waktu untuk mencapai nilai nol (percepatan berhingga).

Hal ini dikarenakan gaya yang dialami muatan roket berhingga sehingga percepatan yang dialami muatan roket berhingga pula. Waktu inilah yang menyebabkan terjadinya kesalahan pengukuran. Selain itu, pengukur waktu yang tidak presisi akan mengakibatkan kesalahan terakumulasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian tiap bagian dan keseluruhan sistem yang telah dilaksanakan, didapat kesimpulan bahwa data keluaran modul sensor 3 axis *gyroscope* L3G4200D berupa data mentah kecepatan sudut. Data tersebut harus diolah terlebih dahulu menjadi data sudut orientasi dengan tipe data *float* kemudian dikirimkan ke komputer. Pengujian menunjukkan alat dapat berfungsi dengan baik mengukur sudut orientasi dengan selisih sudut rata-rata terhadap sudut acuan kurang dari 3%.

Saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem dalam penelitian ini adalah sistem dapat dikembangkan dengan menggabungkan dengan sensor wajib di perlombaan yakni accelerometer dan kompas maupun sensor lainnya sehingga terbentuk kesatuan yang utuh dan siap dilombakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departement of Phisic and Astronomi Georgia State University. Gyroscope. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/gyr.html>. 29 Februari 2012.
- [2] Heryanto, M. Ary; Adi, Wisnu. Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMega 8535. Yogyakarta: Andi.
- [3] NASA. Beginner's Guide to Rockets. <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/bgmr.html>. 12 Maret 2012.
- [4] ShenZen Yishi Electronic Technology Development. 2000. YS-1020UB RF Data Transceiver. <http://lapan.te.ugm.ac.id/download.php?f=YS-1020UB%20manual.pdf> 25 januari 2011.
- [5] SparkFun Electronics. 2009. Triple Axis Gyroscope Breakout – L3G4200D.
- [6] STMicroelectronics. Gyroscope Aplication Note. <http://www.parallax.com/portals/0/downloads/docs/prod/sens/27911-gyroscope AppNote1.pdf>. 23 April 2012.