

**MAKALAH SEMINAR HASIL**

**ALAT UJI MUATAN ROKET KOMURINDO BEBASIS  
FPGA (*FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY*) BAGIAN  
PENGUJIAN FUNGSIONAL *G-FORCE***



Disusun oleh :  
**DENNY SATRIO N.**  
**NIM. 0810630042**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2013**

ALAT UJI MUATAN ROKET KOMURINDO BEBASIS FPGA (*FIELD  
PROGAMABLE GATE ARRAY*) BAGIAN PENGUJIAN FUNGSIONAL  
*G-FORCE*

MAKALAH SEMINAR HASIL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Disusun oleh :

**DENNY SATRIO N.**

**NIM. 0810630042**

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing :

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**M. Julius St., Ir., MS.**

**NIP. 19540720 198203 1 002**

**Mochammad Rif'an, ST., MT.**

**NIP. 19710301 200012 1 001**

# Alat Uji Muatan Roket KOMURINDO Bebasis FPGA (*FIELD PROGRAMMABLE GATE ARRAY*) Bagian Pengujian Fungsional *G-force* (April, 2013)

Denny Satrio N, Ir. M.Julius St., MS., Mochammad Rif'an, ST., MT.

**Abstrak**—Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO) merupakan suatu ajang kompetisi perancangan dan pembuatan muatan/payload roket. Tujuan dari kontes ini adalah untuk menumbuh kembangkan kreatifitas dan minat para mahasiswa dalam Pengembangan teknologi roket. Dalam kontes tersebut terdapat beberapa tahap seleksi pengujian, diantaranya adalah pengujian *g-force*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan gaya *g* sebesar 6*g* terhadap muatan roket sesuai dengan rule KOMURINDO. Sistem kontrol utama alat uji *g-force* ini adalah menggunakan FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Sinyal yang diproses FPGA adalah sinyal PWM yang diberikan ke driver motor untuk mengatur kecepatan putar alat agar alat memiliki gaya sentrifugal. Untuk Mengetahui besarnya kecepatan putaran digunakan sensor *rotary encoder* E40S6. Agar kecepatan putaran dapat stabil maka dibutuhkan *feedback controller*. Hasil RPM yang terbaca oleh sensor kemudian dikonversi menjadi gaya *g* dengan menggunakan RCF (*Relative Centrifuge Force*). Hasil pengujian menunjukkan nilai RPM yang diproses oleh FPGA dengan alat ukur tachometer kesalahan rata-rata adalah 1,13% dengan nilai RPM yang berbeda-beda.

**Kata Kunci**—KOMURINDO, FPGA, PWM, Sensor Rotary Encoder E40S6, *feedback controller*, RCF

## I. PENDAHULUAN

**P**ERKEMBANGAN teknologi roket yang semakin pesat dan didukung oleh kemajuan ilmu komputer dan sistem kontrol sangat membantu manusia dalam mendesain dan mengembangkan sebuah roket. Roket yang handal adalah roket yang mampu melakukan tugasnya dengan baik dan sesuai dengan yang dirancang oleh pembuat roket. Teknologi roket tersebut dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah pengambilan citra di udara, pengiriman satelit keluar angkasa, pertahanan militer dan misi-misi yang sangat penting dapat dilakukan oleh teknologi roket.

Denny Satrio adalah Mahasiswa Program Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (email:d3nn1.ok3@gmail.com)

Ir. M.Julius St., MS. Adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (email: rif\_an91@yahoo.com)

Mochammad Rif'an, ST., MT. Adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang, Indonesia (tel. 085755345003)

Sebagai bentuk turut mengembangkan teknologi roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) mengadakan kontes dalam bidang roket yang diadakan setiap tahun sekali yang diikuti oleh mahasiswa-mahasiswa yang mewakili masing-masing universitas yang ada di Indonesia. Kontes tersebut adalah Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO).

Dalam Kompetisi Muatan Roket Indonesia (KOMURINDO), terdapat 2 bagian utama dari penyusun roket, yaitu peluncur roket dan muatan roket. Peluncur roket berfungsi untuk memberikan daya dorong roket agar dapat meluncur ke udara, peluncur roket disiapkan oleh panitia KOMURINDO. Muatan roket berfungsi untuk mengirim data dari hasil pemantauan udara yang dibuat oleh para peserta KOMURINDO dari berbagai universitas di Indonesia.

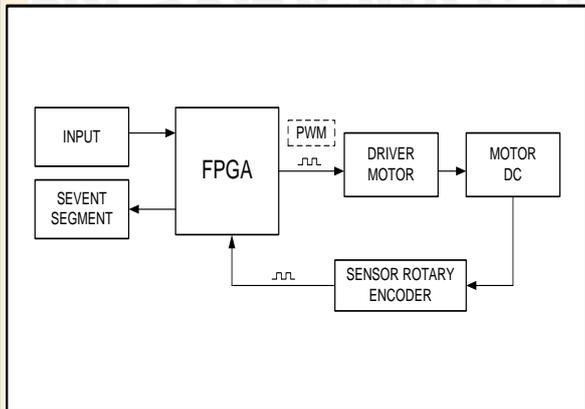
Terdapat 2 pengujian dalam KOMURINDO, yaitu pengujian darat dan udara. Pengujian darat meliputi pengujian vibrasi, pengujian *g-force* dan pengujian *g-shock*.

Pengujian *g-force* adalah pengujian yang menggantikan *payload* roket pada saat *take off* sampai dengan separasi (pemisahan muatan roket dengan peluncur roket). Pembuatan alat uji *g-force* dapat mengatasi masalah dalam hal pengujian gaya gravitasi yang diterima roket, sehingga tidak perlu melakukan peluncuran roket berulang-ulang. Berdasarkan fungsi alat uji fungsional *g-force* tersebut, maka disusunlah skripsi, yang akan membahas secara rinci mengenai segala komponen yang dibutuhkan dalam perancangan alat uji tersebut. Tetapi dalam penelitian ini, hanya dibahas mengenai perancangan alat uji fungsional *g-force* muatan roket. Tidak termasuk perancangan muatan roket.

## II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Secara garis besar, diagram blok perancangan *hardware* sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 1.

Input sistem ini berasal dari 8 bit binary input dari switch FPGA. Nilai input range yaitu dari 0 sampai 256 akan diproses FPGA untuk membangkitkan sinyal PWM [1]. Didalam FPGA nilai PWM akan disesuaikan dengan nilai INPUT dan nilai *feedback controller*, sehingga terdapat pengaturan nilai PWM secara otomatis dari *feedback control* agar PWM sesuai dengan nilai input yang diinginkan.



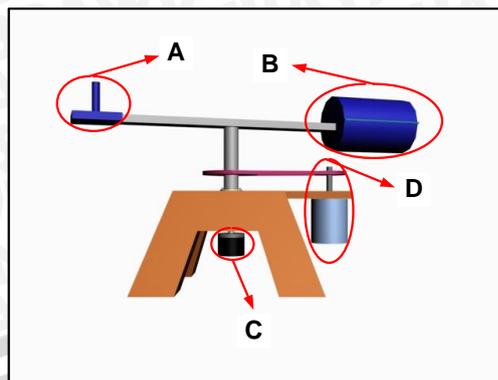
Gambar 1 Diagram blok sistem secara keseluruhan

Sinyal PWM dari FPGA diteruskan ke driver motor yang berupa Optocoupler dan transistor FET IRFZ 44N sebagai pengendali kecepatan motor dengan menggunakan mode saturasi dan *cut off*. Nilai RPM atau putaran per menit dari motor didapat dari nilai PWM untuk menggerakkan lengan putar alat. Saat lengan putar berputar, nilai kecepatan putaran akan didapat melalui sensor *rotary encoder* yang berupa pulsa *high* dan *low*. Pulsa dari *rotary encoder* masuk kedalam input FPGA untuk diproses dan dikonversi menjadi nilai RPM [2].

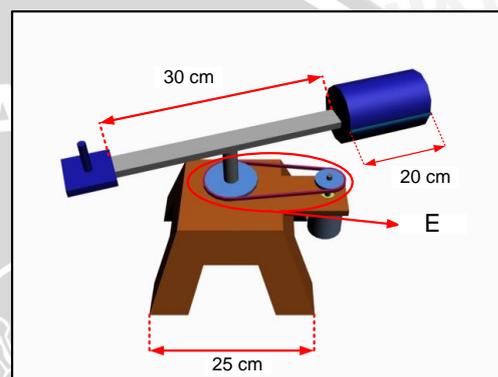
Data RPM dari *rotary encoder* dibandingkan dengan data RPM INPUT untuk digunakan sebagai *feedback control*. Hasil dari perhitungan nilai RPM didalam FPGA ditampilkan dalam 4 digit *seven segment*, yaitu berupa nilai RPM dan RCF.

A. Perancangan Mekanik Alat

Perancangan mekanik alat pada penelitian ini terdapat beberapa komponen utama yang ditunjukkan dalam Gambar 2 dan.3. Simbol A dalam Gambar 2 menunjukkan pemberat alat yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan lengan putar saat diberi beban muatan roket. Simbol B dalam Gambar.2 menunjukkan bagian yang berbentuk silinder yang berfungsi sebagai tempat muatan roket diletakkan. Simbol C dalam Gambar 2 menunjukkan sensor *rotary encoder* yang berfungsi menerima data pulsa kecepatan putaran alat. Simbol D dalam Gambar 2 menunjukkan motor DC 24V yang berfungsi untuk menggerakkan lengan putar alat. Simbol E dalam Gambar 3 menunjukkan gear penggerak dengan perbandingan 5:1, yaitu gear kecil dengan diameter 4 cm dan gear besar 20 cm.

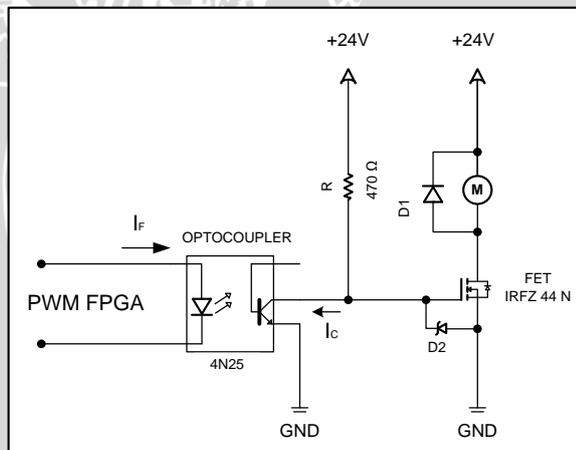


Gambar 2 Rancangan Alat Tampak Samping



Gambar 3 Rancangan Alat Tampak Samping Prespektif

B. Perancangan Rangkaian Elektrik driver motor



Gambar 4 Rangkaian Pengontrol Kecepatan dengan Menggunakan E\_MOSFET

Pada perancangan penelitian ini digunakan komponen E-MOSFET kanal N dengan masukan berupa sinyal PWM FPGA. Gambar 4 menunjukkan rangkaian pengontrol kecepatan motor.

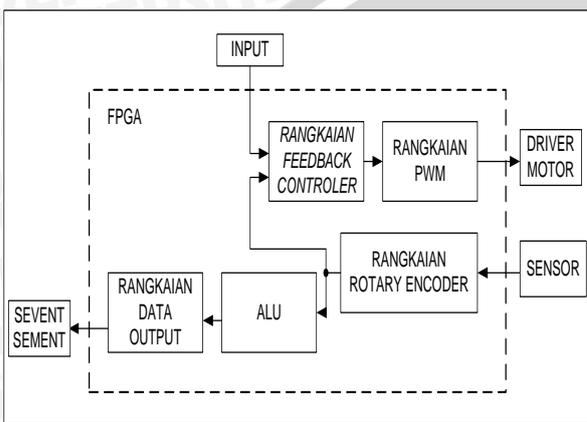
Jenis FET yang digunakan adalah IRFZ44N dengan spesifikasi

- $V_{DS\ max} = 55V$
- $I_{D\ max} = 49A$
- $R_{DS\ on\ max} = 22\ \Omega$
- $V_{GS\ max} = 20V$
- $V_{GS\ threshold} = 3V$

IRFZ44N digunakan karena IRFZ44N memiliki  $I_{Dmax}$  yang cukup besar dan  $R_{DSonmax}$  lebih kecil dibandingkan beberapa jenis E-MOSFET kanal N yang lain. Hal ini mengakibatkan IRFZ44N tidak cepat menjadi panas ketika dilewati arus yang besar [3].

C. Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

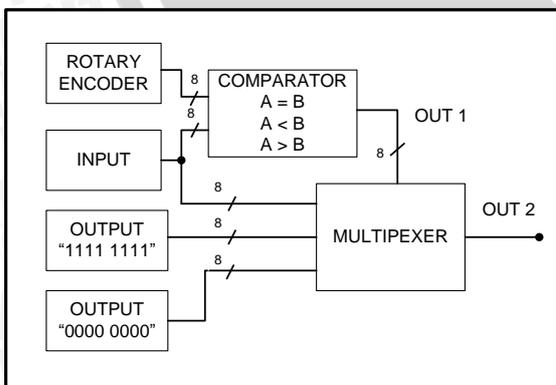
Dalam skripsi ini perancangan perangkat lunak terdiri 5 komponen yang disatukan menjadi 1 bagian sistem, yaitu perancangan perangkat lunak rangkaian pembangkit sinyal pwm, rangkaian feedback controller, rangkaian penerima pulsa rotary encoder, dan rangkaian data seven segment. Gambar 5 menunjukkan perancangan perangkat lunak sistem dalam FPGA.



Gambar 5 Perancangan perangkat lunak sistem dalam FPGA

D. Perancangan rangkaian feedback controller

Perancangan rangkaian feedback controller adalah dengan membandingkan data dari input dengan data dari rangkaian rotary encoder. Hasil perbandingan tersebut (OUT 1) menjadi sinyal selector rangkaian multiplexer. Data 8 bit output yang dipilih oleh rangkaian multiplexer adalah data 8 bit input, data output 8 bit logika '1', dan data output 8 bit logika '0'. Gambar 6 menunjukkan diagram blok rangkaian feedback controller.



Gambar 6 Diagram blok rangkaian feedback controller

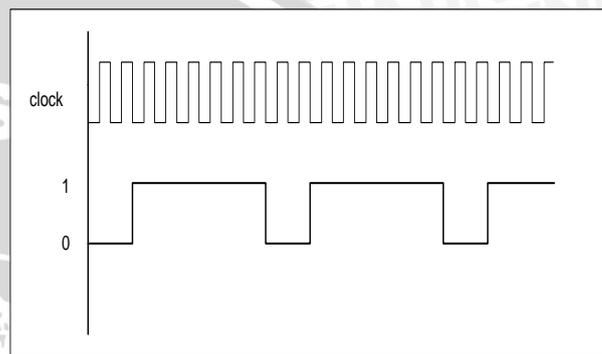
E. Perancangan rangkaian PWM

Perancangan rangkaian PWM (Pulse Width Modulation) adalah dengan mengatur nilai duty cycle pada pulsa yang dihasilkan oleh sinyal PWM. Duty

cycle merupakan perbandingan besarnya nilai pulsa high dengan nilai 1 periode pulsa dikali dengan 100%.

Dari gambar tersebut, maka pulsa PWM dapat diimplementasikan ke dalam sebuah timing diagram yang ditunjukkan dalam Gambar 7.

Timing diagram yang ditunjukkan dalam Gambar 7 nilai dari besarnya periode dan pulsa high dapat diketahui dari besarnya jumlah clock. Untuk mengetahui besarnya jumlah dari clock dibutuhkan rangkaian counter. Besarnya bit output counter ditentukan jumlah dari jumlah clock dalam 1 periode dan frekuensi sinyal PWM yang dapat dirumuskan dalam Persamaan 1 dan 2.



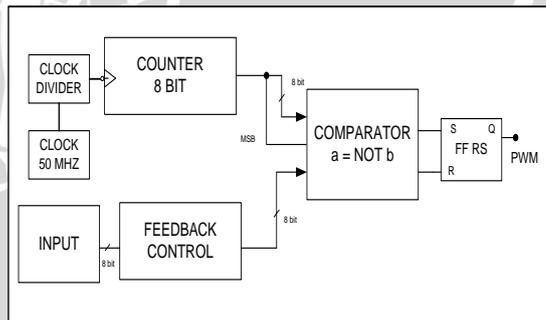
Gambar 7 timing diagram sinyal PWM

$$m = 2^n \tag{1}$$

$$f = \frac{z}{m} \tag{2}$$

keterangan:

- m : jumlah clock dalam 1 periode
- n : jumlah bit output counter
- z : frekuensi clock (Hz)
- f : frekuensi PWM (Hz)



Gambar 8 Diagram blok rangkaian pembangkit sinyal PWM pada FPGA

Pengaturan nilai duty cycle didapatkan melalui pengaturan nilai data dari input. Untuk mendapatkan nilai duty cycle yang diinginkan, maka data pada input adalah sama dengan jumlah clock dalam 1 periode. Berubahnya kondisi dari low ke high adalah sama dengan nilai jumlah clock tertentu dalam 1 periode. Misalkan duty cycle 25%, perubahan kondisi low ke high pulsa terjadi pada jumlah clock = 64 dari total jumlah clock yaitu 256 [4]. Dalam kondisi tersebut,

maka dapat dirancang suatu blok diagram rangkaian PWM yang ditunjukkan dalam Gambar 8.

*F. Perancangan rangkaian penerima pulsa rotary encoder*

Dalam perancangan rangkaian penerima pulsa rotary encoder, data input rangkaian didapat dari pulsa high dan low sensor rotary encoder. Sensor rotary encoder yang digunakan adalah tipe E40S6 dengan jumlah pulsa 360 dalam 1 kali putaran. Untuk mengetahui jumlah pulsa yang dibaca rangkaian dalam per waktu yang ditentukan, maka digunakan rangkaian logika counter dengan pulsa rotary encoder sebagai pemicu counter yang ditunjukkan dalam Gambar 10. Jumlah pulsa rotary per time ms menggunakan reset dari counter. Hasil dari proses sampling didapatkan kecepatan sampling (V) yang ditunjukkan dalam Persamaan 3. Proses sampling pulsa rotary ditunjukkan dalam Gambar 9.

$$V = \frac{n}{time} \tag{3}$$

Misal untuk 60 RPM, berarti selama 1 menit atau 60 detik terdapat 60 putaran. 1 detik berarti 1 putaran. Dari Persamaan 3 dapat dicari persamaan untuk mencari RPM dari alat yang akan dirancang, yaitu ditunjukkan pada persamaan:

$$RPS = \frac{n}{m} \times \frac{1}{time} \tag{4}$$

$$RPM = \frac{n}{m} \times \frac{1}{time} \times 60 \tag{5}$$

Keterangan:

- V = kecepatan sampling (n/s)
- RPM = Revolutions Per Minute
- RPS = Revolutions Per Second
- n = jumlah pulsa rotary encoder
- m = Jumlah pulsa rotary encoder E40S6 tiap 1 putaran
- time = waktu sampling (s)

Time/waktu sampling yang digunakan dalam perancangan alat ini adalah 50 ms, sehingga:

$$RPM = \frac{n}{360} \times \frac{1}{50 \times 10^{-3}} \times 60$$

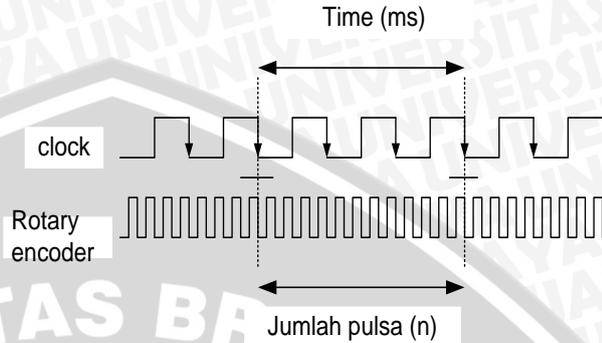
$$= \frac{n}{6} \times \frac{1}{50 \times 10^{-3}}$$

$$= n \times \frac{10}{3}$$

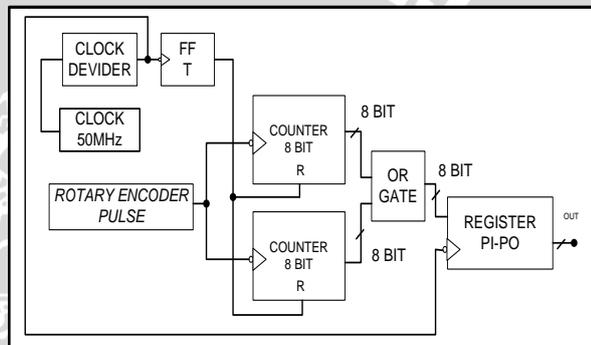
Dalam sistem FPGA type data yang digunakan ALU adalah UNSIGNED dan INTEGER, sehingga untuk nilai 10/3 = 3,33333 dibulatkan menjadi 3,3 = 33 x 10<sup>-1</sup>. Nilai 33 adalah integer yang digunakan dengan 10<sup>-1</sup> sebagai penanda koma digit pertama pada 4 digit output seven segment. Sehingga nilai RPM pada time sampling 50 ms, yaitu :

$$RPM = n \times 33 \times 10^{-1} \tag{6}$$

Nilai RPM dari pulsa rotary encoder, pulsa dari sensor rotary encoder adalah “n”. Pulsa dari sensor rotary encoder tersebut kemudian dihitung dengan menggunakan counter, counter = Σn. Waktu sampling didefinisikan sebagai z, time = z ms yang kerjanya adalah mereset counter tiap z ms. Selanjutnya data n dan time dimasukkan dalam Persamaan 3.



Gambar 9 timing diagram proses sampling pulsa rotary encoder

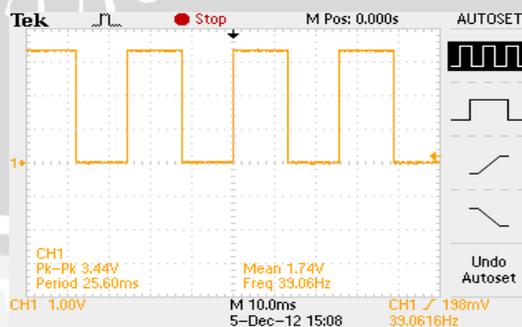


Gambar 10 Diagram blok rangkaian penerima pulsa rotary encoder pada FPGA

### III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

#### A. Pengujian PWM

Pengujian PWM bertujuan untuk mengetahui bentuk pulsa periodik yang dihasilkan FPGA, khususnya untuk mengetahui besarnya lebar pulsa high dalam 1 periode.



Gambar 11 Pengujian sinyal PWM FPGA dengan Input biner “10000000” pada osciloscop TDS-1012B

Gambar 11 menunjukkan perubahan lebar logika high pada sinyal PWM yang dihasilkan oleh FPGA yang diamati melalui osciloscop TDS-1012B Dengan input 8 bit yang diubah-ubah lebar pulsa high pada PWM juga

ikut berubah, namun lebar 1 periode tetap/tidak terjadi perubahan. Hal ini menunjukkan terdapat perhitungan *duty cycle* yang berhubungan dengan kombinasi n-bit input. Nilai *duty cycle* juga berpengaruh terhadap tegangan referensi 3,291 volt yang dihasilkan oleh FPGA yang dapat diamati dalam Tabel 1.

TABEL 1  
PENGUJIAN SINYAL PWM FPGA DALAM VOLT

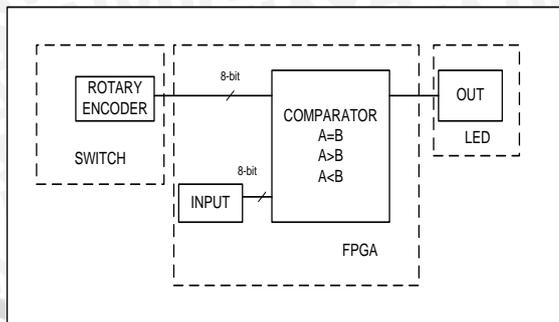
Logika biner INPUT	Duty cycle (dalam %)	Sinyal PWM pada Pengujian (dalam volt)	Sinyal PWM Teori (dalam volt)	Error (dalam%)
11111111	100,0	3,291	3,291	0
11101111	93,7	3,084	3,085	0,032
11011111	87,5	2,879	2,880	0,034
11001111	81,2	2,673	2,674	0,037
10111111	75,0	2,467	2,468	0,040
10101111	68,7	2,261	2,263	0,088
10011111	62,5	2,055	2,057	0,097
10001111	56,2	1,849	1,851	0,108
01111111	50,0	1,643	1,645	0,121
01101111	43,7	1,438	1,440	0,139
01011111	37,5	1,232	1,234	0,162
01001111	31,2	1,027	1,028	0,097
00111111	25,0	0,821	0,823	2,436
00101111	18,7	0,616	0,617	1,620
00011111	12,5	0,411	0,411	0
00001111	6,2	0,206	0,206	0
00000000	0	0	0	0
Kesalahan Rata-Rata				0,295

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh perhitungan sinyal PWM dalam volt yang diinginkan dan data hasil percobaan. Dari Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa tingkat kesalahan semakin besar apabila nilai input semakin kecil. Kesalahan rata-rata dapat diperoleh hingga 0,295%.

**B. Pengujian Feedback Controller**

Rangkaian *feedback controller* merupakan perbandingan antara data hasil dari rangkaian penerima sinyal rotary encoder dengan data input [5]. Pada Pengujian ini, diamati hasil perbandingan 2 data tersebut. Untuk memudahkan dalam pengujian, maka data dari rotary encoder digunakan sebagai switch input dalam modul FPGA, sedangkan data INPUT yang dibandingkan ditulis dalam program FPGA. Gambar 12 menunjukkan rangkaian pengujian *feedback controller* pada FPGA.

Prosedur pengujian rangkaian *feedback controller* adalah dengan menetapkan data input waktu FPGA deprogram dan data rotary encoder yang dapat diubah-ubah melalui switch. Hasil output diamati melalui LED pada modul FPGA.



Gambar 12 Rangkaian Pengujian *Feedback Controller*

TABEL 2  
DATA HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN *FEEDBACK CONTROLLER*

Rotary encoder (A)	INPUT (B)	Komparasi Kondisi Logika input	Output LED
00000111	00001111	A<B	Terang
00001111	00001111	A=B	Redup
00011111	00001111	A>B	Mati

Tabel 2 menunjukkan data INPUT (B) ditetapkan adalah “00001111” atau dalam decimal = 15. Data rotary encoder (A) menggunakan switch yang diubah-ubah untuk dibandingkan dengan data INPUT (B). Saat data rotary encoder kurang dari data INPUT, maka kondisi LED adalah terang. Hal ini bertujuan agar kondisi output tersebut dapat menggerakkan motor lebih cepat agar mencapai data yang diinginkan, sebaliknya jika data Rotary encoder lebih besar dari data INPUT, maka kondisi LED akan mati. Hal ini bertujuan agar motor mengurangi kecepatan lebih lambat agar mencapai data yang diinginkan. Kondisi LED redup saat A sama dengan B menandakan sinyal PWM yang dihasilkan FPGA dan kondisi output sesuai dengan data yang diinginkan.

**C. Pengujian Secara Keseluruhan**

Pengujian RPM bertujuan untuk membandingkan data RPM yang diproses oleh FPGA dengan data RPM yang diperoleh dari alat ukur lain, yaitu Tachometer. Proses ini menjadi pengujian secara keseluruhan karena seluruh sistem dari masing-masing komponen secara aktif bekerja untuk menghasilkan output akhir yang diinginkan, yaitu nilai RPM.

Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini adalah menyiapkan alat-alat yang digunakan untuk menjalankan program FPGA dan alat ukur tachometer. Diambil beberapa data dengan input data biner yang berbeda-beda. Dari pembacaan RPM di output FPGA dengan pembacaan RPM dari alat ukur Tachometer dapat dicari besarnya error atau kesalahan. Tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian RPM dalam proses FPGA dengan menggunakan alat ukur Tachometer.



TABEL 3  
DATA HASIL PENGUJIAN RPM DALAM PROSES FPGA  
DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UKUR TACHOMETER

DATA INPUT	PEMBACAAN RPM FPGA (TEORI)	PEMBACAAN RPM TACHOMETER (PRAKTIK)	Error (%)
00010011	66	65,1	1,36
00010111	75,9	78,1	2,90
00011111	102,3	104,2	1,86
00100011	115,5	117,2	1,73
00100111	128,7	130,3	1,24
00101111	155,1	156,5	0,90
00110111	181,2	182,3	0,61
00111011	194,7	195,6	0,46
00111110	204,6	205	0,19
10000111	231,7	231,5	0,08
RATA-RATA KESALAHAN			1,13

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian pengukuran RPM dengan menggunakan Tachometer digital. Saat nilai input diperbesar, maka nilai RPM yang terbaca juga mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan nilai PWM sama dengan nilai data biner pada input. Rata-rata error yang didapat dalam pengujian ini adalah 1,13%

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

Dari Hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut .

- 1). Hasil pengujian sinyal PWM yang dihasilkan FPGA secara praktek dan teori memiliki kesalahan rata-rata 0,295%. Hal ini tidak terlalu mempengaruhi kinerja dari sistem alat yang dirancang.
- 2). Pengujian secara keseluruhan untuk membandingkan nilai RPM yang dihasilkan oleh sistem dengan alat ukur lain diperoleh kesalahan rata-rata sebesar 1,13%. Hal ini menunjukkan nilai RPM yang dihasilkan sistem sesuai dengan yang diinginkan.
- 3). Hasil output dari perancangan alat uji fungsional *g-force* sudah sesuai dengan yang diinginkan. Karena menurut aturan KOMURINDO dalam pengujian *g-force* muatan roket akan diberikan gaya *g* sebesar 6*g* atau sebesar 190 RPM dalam radius 15 cm. Sedangkan hasil dari sistem yang dirancang dapat memberikan gaya *g* sebesar 9*g* atau sebesar 231 RPM dalam radius 15 cm.

##### B. Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan alat uji Muatan roket bagian fungsional *G-force* lebih lanjut adalah:

- 1). Disarankan untuk membuat desain mekanik alat yang lebih presisi agar kerja motor DC lebih optimal dan sesuai dengan yang diinginkan.
- 2). Mengembangkan sistem program pada FPGA atau kontroler utama yang lebih kompleks dan sensor yang lebih banyak, karena keunggulan FPGA yang dapat memproses suatu sistem secara paralel.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, R.S. 2010. *FPGAs 101-Everything you need to know to get started*. Elsevier Inc. USA Smith, R.S. 2010. *FPGAs 101-Everything you need to know to get started*. Elsevier. Oxford.
- [2] Areny, P.Ramon. 1991. *Sensor and Signal Conditioning*. John Wiley & Sons Inc. Canada.
- [3] Lister, Eugene.C. 1984. *Elektric Circuits and Machines Sixth Edition*. McGraw-Hill Inc. London.
- [4] Meyer, U and Baese. 2007. *Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Array*. Springer Berlin Heidelberg. New York.
- [5] Maxfield, C. 2009. *FPGAs World Class Designs*. Elsevier. Oxford.