

PERANCANGAN UJI SIRIP ROKET BAGIAN *AILERON* DENGAN MENGGUNAKAN KONTROL PID

Galih Irfan Firdaus

Abstrak: Roket merupakan sebuah peluru kendali atau suatu kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi roket secara cepat dengan bahan fluida dari keluaran mesin roket. Sistem Kendali Sirip Roket berbasis Mikrokontroler ATmega8 berguna untuk mengendalikan sirip roket khususnya bagian aileron. Dibutuhkan komponen – komponen pendukung berupa Sensor Accelerometer, Sensor Gyroscope, ATmega8 dan Motor Servo. Alat pengendali sirip roket ini dapat digunakan untuk mengendalikan sirip roket bagian aileron pada saat posisi roket tidak stabil atau terjadi gerakan naik turun pada saat setelah diluncurkan, sehingga dapat menghasilkan penerbangan yang maksimal dalam mencapai sasaran. Perancangan yang digunakan adalah jenis pengendalian dengan kontrol PID. PID (*Proportional Integral Derivative controller*) merupakan controller untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri. Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pemilihan konstanta K_p , K_i dan K_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Dalam perancangan sebuah sistem kendali menggunakan controller PID pada motor servo yang diharapkan mampu menggerakkan sirip naik dan sirip turun pada roket sehingga mampu menjaga kestabilan roket saat diluncurkan. Prosentase error pada proyek akhir ini adalah 0,5 %.

Kata kunci: Kontroler PID, Motor Servo, Sensor Accelerometer.

Roket adalah suatu kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi roket terhadap keluarnya secara cepat bahan fluida dari keluaran mesin roket. Aksi dari keluaran dalam ruang bakar dan nozzle pengembang, mampu membuat gas mengalir dengan kecepatan hipersonik sehingga menimbulkan dorongan reaktif yang besar untuk roket (sebanding dengan reaksi balasan sesuai dengan hukum pergerakan newton ke 3). Seringkali definisi roket digunakan untuk merujuk kepada mesin roket.

Di lapas (lembaga antariksa dan penerbangan nasional) sedang dikembangkan roket dengan berbagai fungsi diantaranya roket pendeteksi petir, roket pendorong satelit serta roket-roket lainnya. Adapun jenis roket diantaranya roket 80 mm (rx-80), astros-ii, rhan-22, yakhont, exocet, dan rolex.

Jenis roket yang digunakan dalam penelitian ini adalah roket rolex yang dikembangkan oleh tentara nasional indonesia (TNI), pada roket yang tengah dikembangkan ini muncul berbagai permasalahan diantaranya adalah kurang stabilnya roket pada saat setelah peluncuran, juga ketidaksesuaian sasaran pada saat roket diluncurkan. Hal ini memicu kebutuhan untuk mengembangkan roket agar dapat maksimal sesuai dengan fungsi.

Sehingga dibutuhkan suatu sistem kendali yaitu suatu alat (kumpulan alat) untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari suatu sistem. Sebagai contoh pada saat roket bergerak ke bawah maka sirip kanan-kiri (*aileron*) akan bergerak naik ke atas dan sebaliknya pada saat roket bergerak ke atas maka sirip akan bergerak ke bawah begitu juga pada saat roket berbelok ke kanan maka sirip atas-bawah (*rudder*) akan bergerak ke kiri dan saat roket bergerak ke kiri maka sirip akan ke kanan, sirip akan saling membalas gerakan roket sampai di peroleh kestabilan. Sebagai penggerak

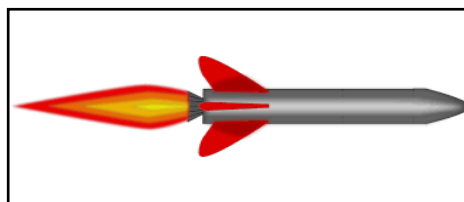
dari sirip/fin tersebut digunakan motor servo. Dari latar belakang diatas maka dilakukan penelitian tugas akhir dengan judul “perancangan uji sirip roket bagian aileron dengan menggunakan kontrol PID”.

Berdasarkan permasalahan respon kendali sirip roket bagian aileron menggunakan kontrol PID, maka dapat dibuat rumusan masalah yaitu bagaimana menentukan pengendali sirip aileron menggunakan kontrol PID agar pada saat diluncurkan roket dapat terbang seimbang dan maksimal dalam mencapai sasaran.

Tujuan penelitian ini adalah merancang sebuah sistem untuk menstabilkan sirip roket bagian aileron dengan menggunakan kontrol PID dengan menggunakan parameter *error* sudut dan data sensor dengan menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.

Roket merupakan sebuah peluru kendali atau suatu kendaraan terbang yang mendapatkan dorongan melalui reaksi roket terhadap keluarnya secara cepat bahan fluida dari keluaran mesin roket. Aksi dari keluaran dalam ruang bakar dan nozle pengembang, mampu membuat gas mengalir dengan kecepatan hipersonik sehingga menimbulkan dorongan reaktif yang besar untuk roket (sebanding dengan reaksi balasan sesuai dengan hukum pergerakan newton ke 3). Penelitian yang dilakukan oleh LAPAN pada percobaan roket RX-320 bulan Juli 2008 merupakan roket yang terbesar yang dirancang untuk mengetahui prestasi terbang roket. Dalam uji statik yang dilakukan roket ini berbobot 598 kg, berat propelan 254 kg, gaya dorong 3500 kgf, berat beban guna 60 kg dan waktu pembakaran 13 detik. Akan tetapi pada percobaan ini parameter yang digunakan adalah jarak jangkauan, ketinggian dan kecepatan maksimum namun tidak menggunakan suatu kontrol sehingga dalam pencapaiannya kurang maksimal (Sembiring, 2011).

Rangka atau badan roket (*rocket frame*) terbuat dari bahan yang ringan dan kuat seperti titanium dan almunium, karena rangka berfungsi sebagai pelindung. Badan roket ini juga dilapisi dengan lapisan khusus untuk melindunginya dari panas yang berlebihan saat menembus atmosfir bumi dan juga untuk melindungi dari dingin yang berlebihan. Sirip di pasang pada bagian bawah roket untuk menjaga stabilitas selama peluncuran. Adapun komponen utama roket terdiri dari lima bagian yaitu rangka (*structure sistem*), Beban (*payload sistem*), sistem pemandu (*guidance sistem*) dan sistem propulsi (*propulsion sistem*), *fin* (Sirip). sesuai dengan Gambar 1.

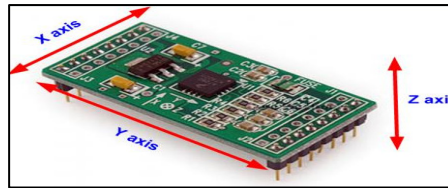


Gambar 1. Roket

PID controller merupakan kontroler mekanisme umpan balik yang biasanya dipakai pada sistem kontrol industri. Sebuah kontroler PID secara kontinyu menghitung nilai kesalahan sebagai beda antara *set point* yang diharapkan dan variabel proses terukur.

Sensor merupakan suatu komponen yang digunakan untuk mengubah suatu besaran ke besaran lainnya. Sensor *accelerometer* berfungsi untuk mengukur akselerasi tepat. Mekanismenya adalah sebuah roda berputar dengan piringan didalamnya yang tetap stabil *Accelerometer* adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, dan juga untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Sensor *accelerometer* mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya (Udiantoro dkk, 2013). *Gyroscope* menentukan orientasi berdasarkan

prinsip momentum sudut. *Gyroscope* konvensional adalah *mechanical gyroscope* yang terdiri atas sebuah piringan (rotor) yang berputar disumbu putar. Jumlah gimbal menunjukkan jumlah *axiz gyroscope* (Rifan dkk, 2012). Ditujukan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sensor Accelerometer dan Gyroscope

Sebuah motor dengan *system closed feedback* dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali kerangkaian control yang ada didalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor, serangkaian gear, *potensiometer* dan rangkaian kontrol. *Potensiometer* berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Tampak pada gambar dengan pulsa 1.5 ms pada periode selebar 2 ms maka sudut dari sumbu motor akan berada pada posisi ditengah. Semakin lebar pulsa *OFF* maka akan semakin besar gerakan sumbu kearah jarum jam dan semakin kecil pulsa *OFF* maka akan semakin besar gerakan sumbu kearah yang berlawanan dengan jarum jam (Toruan, 2010). Motor servo itu sendiri adalah motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh *rate* putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena *internal gearnya* lebih dalam (Syahrul). terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Motor Servo

Adapun prinsip kerja dari motor servo yaitu Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Wide Modulation / PWM*) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90°. Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam) (Arifin, 2014). beberapa aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor dc, daya disuplai ke motor dalam bentuk sinyal gelombang persegi yang amplitudonya konstan tetapi lebar pulsanya atau *duty cycle* berubah-ubah. *Duty cycle* adalah persentase waktu pulsa *high* terhadap perioda pulsa (Arini dan Kawono). Avr merupakan seri mikrokontroler cmos 8-bit buatan atmel, berbasis arsitektur risc (*reduced instruction set computer*). Register ini di-update setelah operasi ALU (*Arithmetic Logic Unit*) hal tersebut seperti yang tertulis dalam *data sheet* khususnya pada bagian *Instruction Set Reference* (Harsono dkk, 2009). Mikrokontroler AVR ATmega8 memiliki keunggulan yang lebih karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*, kemajuan arsitektur RISC, daya tahan tinggi dan

segmen Memori *non-volatile*, *Programmable Watchdogtimer* dengan on-chip oscillator terpisah. fitur perangkat mikrokontroler AVR seperti terdapat ADC, PWM dan Timer (Ali, 2014), *Input Output* dan Kemasan ATmega8 mempunyai 23 jalur program sehingga memungkinkan kita untuk mengontrol lebih banyak *device*/ perangkat, seperti Tombol/ *switch*, LED, *buzzer* dan LCD. Tegangan yang beroperasi dan tingkat kecepatan ATmega8 memiliki operasi tegangan dari 2,7 Volt sampai 5,5 Volt. Kecepatan maksimal bisa mencapai 16 MHz (tanpa *overclock*). Konsumsi daya ketika 4 Mhz, 3V, 25°C ATmega8 membutuhkan arus yang sangat kecil dibanding komponen analog yang biasa dipakai (Indriani dkk, 2014). Tidak seperti sistem komputer, yang mampu menangani berbagai macam program aplikasi (misalnya pengolah kata, pengolah angka dan lain sebagainya), mikrokontroler hanya bisa digunakan untuk suatu aplikasi tertentu saja (hanya satu program saja yang bisa disimpan). Perbedaan lainnya terletak pada perbandingan RAM dan ROM. Pada sistem komputer perbandingan RAM dan ROM-nya besar, artinya program-program pengguna di simpan dalam ruang RAM yang relatif besar, sedangkan rutin-rutin antarmuka perangkat keras disimpan dalam ruang ROM yang kecil. Sedangkan pada Mikrokontroler, perbandingan ROM dan RAM-nya yang besar, artinya program kontrol disimpan dalam ROM (bisa Masked ROM atau *Flash PEROM*) yang ukurannya relatif lebih besar, sedangkan RAM digunakan sebagai tempat penyimpanan sementara dan termasuk register-register yang digunakan pada mikrokontroler yang bersangkutan (Toyib dan Hidayatullah, 2016). CPU terdiri atas 32x8 *bit general purpose register* yang dapat diakses dengan cepat dalam satu *clock cycle* yang mengakibatkan operasi *Arithmetic Logic Unit* (ALU) dapat dilakukan dalam satu *cycle*. Pada operasi ALU, dua *operand* berasal dari *register* kemudian operasi dieksekusi dan hasilnya disimpan kembali pada *register* dalam satu *clock cycle*. Oleh karena itu ATmega8A mengoptimisasi konsumsi daya VS kecepatan pemroses (Saptadi, 2011). Terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Atmega8

Sebuah *software* yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler sekarang ini telah umum. Mulai dari penggunaan untuk kontrol sederhana sampai kontrol yang cukup kompleks, mikrokontroler dapat berfungsi jika telah diisi sebuah program, pengisian program ini dapat dilakukan menggunakan compiler yang selanjutnya diprogram ke dalam mikrokontroler menggunakan fasilitas yang sudah di sediakan oleh program tersebut, ditujukan pada Gambar 5.



Gambar 5. Software Codevision AVR

(*Matrix Laboratory*) adalah sebuah lingkungan komputasi numerikal dan bahasa pemrograman komputer generasi keempat. Dikembangkan oleh *The MathWorks*, MATLAB memungkinkan manipulasi matriks, pemplot-an fungsi dan data, implementasi algoritma, pembuatan antarmuka pengguna dan peng-antarmuka-an dengan program dalam bahasa lainnya. Meskipun hanya bernuansa numerik, sebuah kotak kakas (*toolbox*) yang menggunakan mesin simbolik MuPAD, memungkinkan akses terhadap kemampuan aljabar komputer. Sebuah paket tambahan, *Simulink*, menambahkan simulasi grafis multiranah dan Desain Berdasar-Model untuk sistem terlekat dan dinamik. Dengan adanya *Software Matlab* proses analisis fungsi alih akan menjadi jauh lebih mudah dan cepat sehingga akan memudahkan dalam proses pembelajaran terutama dalam perancangan sistem kontrolnya (Ali, 2014). Terdapat pada Gambar 6.

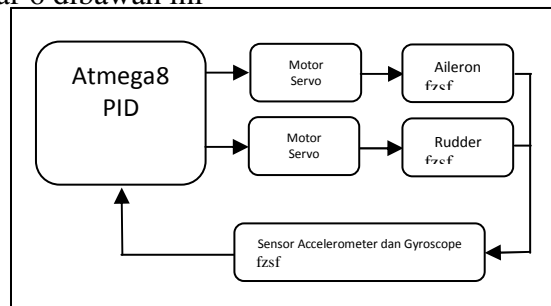


Gambar 6. *Software Matlab*

METODE

Blok Diagram

Untuk mempermudah perancangan alat diperlukan blok diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dibawah ini



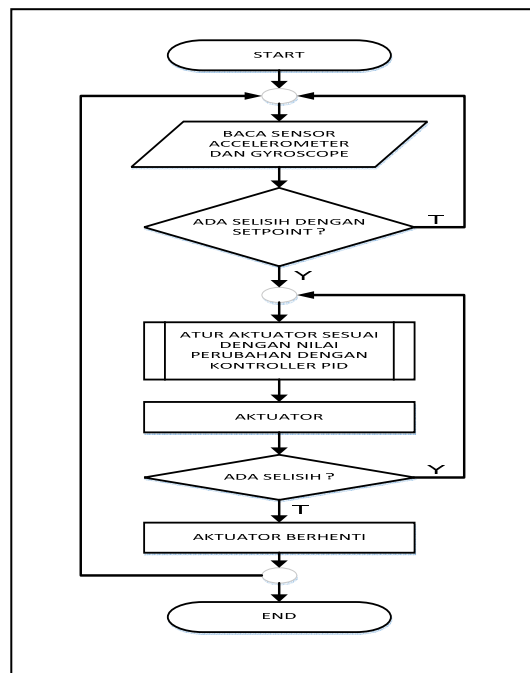
Gambar 6. Blok Diagram

Berdasarkan blok diagram yang ditunjukkan dalam Gambar 6 Dapat diketahui sistem kerja dari alat adalah sebagai berikut :

1. Pada saat setelah roket bergerak, maka sensor *accelerometer* dan *gyroscope* akan membaca data dari gerakan roket tersebut.
2. Data tersebut dikirim ke mikrokontroler *ATmega8* untuk penentuan kontrol k_p , k_i dan k_d agar respon yang dihasilkan baik.
3. Dari mikrokontroler data dikirim ke aktuator.
4. Selanjutnya *driver* memerintahkan motor untuk menggerakkan sirip sesuai program yang telah diberikan.
5. Ketika roket bergerak ke atas maka sirip akan bergerak ke atas dan jika roket bergerak ke bawah maka sirip bergerak ke bawah sampai diperoleh kestabilan sehingga *error* yang dihasilkan bisa diminimalisir.

Diagram Alir

Adapun penjelasan urutan kerja dai sistem pada diagram alir pada perancangan uji sirip roket ini terdapat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir

1. Start untuk memulai menjalankan proses pada program, kemudian terjadi proses inialisai ADC.
2. Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* akan membaca dari gerakan roket setelah roket diterbangkan.
3. Apakah ada selisih dengan set point yang sudah ditentukan ? bila tidak ada maka sensor kembali membaca dari gerakan roket, bila ada maka aktuator akan diatur kembali.
4. Aktuator akan diatur sesuai dengan nilai yang ditentukan dari perubahan yang dihasilkan oleh roket dengan kontrol PID.
5. Aktuator menerima perintah dari sistem.
6. Apabila ada selisih dari aktuator maka aktuator akan kembali diatur oleh sistem, apabila tidak maka aktuator akan berhenti.

Perancangan Mekanik

Mekanik keseluruhan yang direncanakan adalah sebuah roket dengan 4 sirip dibagian belakang yaitu sirip *aileron* dan sirip *radder*. Pada bagian bawah ada ruang untuk penempatan motor dan pada bagian bawah sirip di beri pengait kecil yang berguna untuk mengaitkan sirip dengan motor yang berfungsi untuk menggerakan sirip sesuai dengan pulsa yang dihasilkan. Adapun perencanaan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Penempatan Motor

HASIL DAN PEMBAHASAN

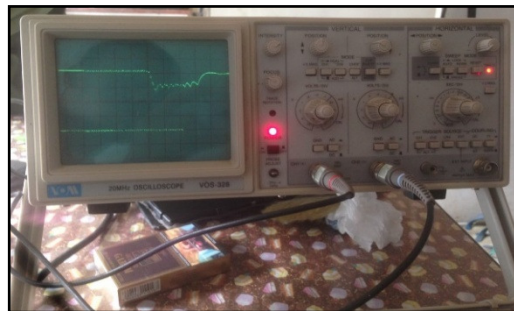
Data-data hasil pengujian pada sistem dengan melakukan beberapa kali percobaan dan pengamatan serta perhitungan. Adapun pengujian akan dilakukan dalam beberapa bagian meliputi : Pengujian sensor *accelerometer*, Pengujian sistem minimum *ATmega8*, pengujian rangkaian Driver Motor, Pengujian alat Keseluruhan.

Hasil Pengujian Sensor

Pengujian sensor *accelerometer* dengan rangkaian *ATmega8* bertujuan untuk mengetahui apakah sensor dan mikrokontroller berfungsi dengan baik atau tidak.



Gambar 9. Pengujian Sensor Accelerometer dengan Oscilloscope



Gambar 10. Hasil Pengujian Bentuk Sinyal SDA dari Sensor Accelerometer

Hasil Pengujian dan Analisa Data

Dari hasil pengujian Mikrokontroller *ATmega8* dan sensor *accelerometer* disimpulkan bahwa komponen bekerja dengan baik. Hasil dari pembacaan sensor ditampilkan pada lcd 16x4 yang ada pada port C seperti pada Gambar 11, hasil sensor didapat dengan menggerakkan rangkaian sensor ke arah kanan 15° dan hasil yang tertampil pada LCD adalah 1950°/s.



Gambar 11. Hasil pengujian Mikrokontroller Atmega8 dengan Sensor Accelerometer

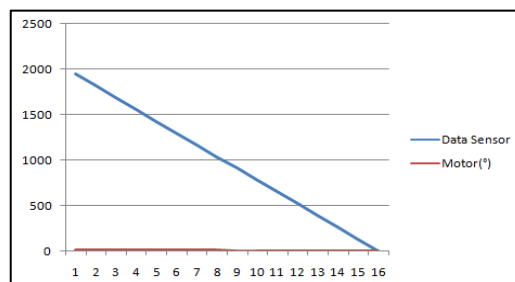
Tabel 1. Data Sensor

Data Sensor	Motor(°)
1950	15
1820	14
1690	13
1560	12

1430	11
1300	10
1170	9
1040	8
910	7
780	6
650	5
520	4
390	3
260	2
130	1
0	0
130	1
260	2
390	3
520	4
650	5
780	6
910	7
1040	8
1170	9
1300	10
1430	11
1560	12
1690	13
1820	14
1950	15

Dari hasil pengujian sensor Accelerometer dengan rangkaian *ATmega8* pada Gambar 11. dapat diperoleh data yang ditampilkan pada LCD ukuran 16x4 dengan cara menggerakkan sensor untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari hasil Tabel 1 didapat hasil data sensor terhadap motor yang dihasilkan, hasil menunjukan 1° dibutuhkan sebanyak 130 data, dari penempatan posisi mekanik sirip kita dapat menarik kesimpulan bahwa sudut negatif atau pulsa kurang dari 1° arah sirip ke bawah dan pulsa lebih dari 1° arah sirip ke atas.



Gambar 12. Grafik Data Sensor

Dari grafik Gambar 12. dapat disimpulkan bahwa data sensor berbanding terbalik dengan data motor atau semakin kecil data disumbu y semakin besar data disumbu x.

Hasil Pengujian pada Wind Tunnel

Instrumen tersebut merupakan sebuah kotak kayu yang membentuk terowongan tertutup dengan ujung-ujung yang saling bertemu. Pada salah satu bagian dari terowongan tersebut, terdapat kipas besar yang berfungsi sebagai turbo fan. Di

seberangnya, terdapat sebuah kotak transparan berbahan mika sebagai test section. Inilah instrumen yang disebut sebagai terowongan angin atau *wind tunnel*. Pengujian dilakukan dengan memberikan kecepatan yang berbeda pada *wind tunnel* dari kecepatan 8-14 m/s. *wind tunnel* terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Terowongan Angin

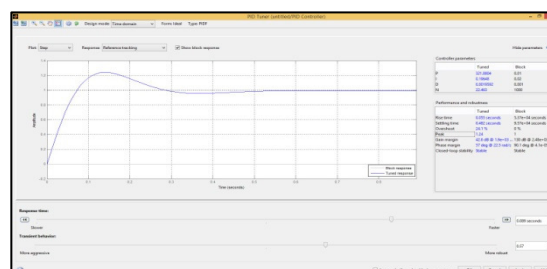
Hasil pengujian sirip *aileron* pada *wind tunnel* dan pengamatan didapatkan data ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data Respon Sirip

NO	KEC (m/s)	SUDUT (°)	WAKTU RESPON			RATA RATA (m/s)
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
1	8	20	59	71	71	67
	8	40	184	202	196	194
	8	60	379	376	373	376
2	9	20	131	139	132	134
	9	40	200	209	203	204
	9	60	376	391	380	382
3	10	20	280	269	262	270
	10	40	355	370	373	366
	10	60	435	458	436	443
4	11	20	325	332	339	332
	11	40	420	423	424	422
	11	60	559	575	602	578
5	12	20	396	404	398	399
	12	40	454	465	436	451
	12	60	600	604	610	604
6	13	20	400	414	412	408
	13	40	470	482	481	477
	13	60	700	711	708	706

Hasil Pengujian keseluruhan

Untuk melihat hasil respon dari fungsi alih yang telah dimodelkan pada BAB 3 ditunjukkan pada Gambar 14 menggunakan software Matlab.



Gambar 14. Simulasi Fungsi Alih

Dari sampling data pada Gambar 14 dengan hasil respon sedemikian rupa dari nilai $K_p = 321.8804$, nilai $K_i = 0.19648$ dan $K_d = 0.0019592$ dengan rise time 0.55 s, settling time 0.482 s, overshoot 24.1 % dengan menghasilkan waktu 0.069 detik untuk menuju ke steady state.

KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem kerja yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Sistem kendali pada kendali sirip roket ini akan menjaga kestabilan roket setelah roket diluncurkan. Pada perancangan sistem ini, time setling yang dibutuhkan adalah sekitar 0.196 s, dengan $K_P = 0.01$, $K_I = 0.02$, $K_D = 0.001$ dengan rise time 0.265 s, over shoot 14,2% dengan menghasilkan waktu 0.069 detik untuk menuju steady state.
- b. Dari hasil analisis pengujian dengan menggunakan lorong angin/windtunnel, dengan pengujian variable kecepatan yang berbeda menghasilkan respon penyimpangan yang berbeda-beda pula.

Setelah melalui beberapa pengamatan yang dilakukan, serta pengujian, maka saran-saran yang ingin diberikan penulis untuk meningkatkan keunggulan alat software ini yaitu:

- a. Untuk lebih menyempurnakan penyusunan tugas akhir ini maka disarankan hendaknya kedepan alat dilengkapi dengan system gps (*global positioning system*) agar memudahkan pengguna dalam mengontrol gerakan dan letak roket untuk ditampilkan visualisasi agar data yang ditampilkan lebih detail kemudian diinterfacekan pada laptop untuk menampilkan data dari alat tersebut pada saat roket terbang sehingga dapat memudahkan dalam pemantauannya.
- b. Melakukan standarisasi alat, dengan membandingkan pengukuran menggunakan alat yang lain untuk mengetahui nilai *error* pada alat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Turah Sembiring, "Penentuan Gaya Hambat Udara Pada Peluncuran Roket Dengan Sudut Elevasi 65°", Majalah Sains Dan Teknologi Dirgantara, Vol. 6, No. 2 Juni 2011 : 47-52.
- Ungguh Udianto, Pangih Basuki, Suparwoto, "Purwarupa Sistem Pemantau Getaran Jembatan Menggunakan Sensor Accelerometer", Jurnal Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems, Vol. 3, No. 2 (2013).
- Mochammad Rifan, Waru Djurianto, Nanang Sulistiyanto, Ponco Siwindarto, M Aswin dan Vita Nurdinawati, "Pemanfaatan 3 Axis Gyroscope L3G4200D Untuk Pengukuran Sudut Muatan Roket", Jurnal EECCIS, Vol. 6, No. 2, Desember 2012.
- Hendry Toruan, "Simulasi Sistem Kontrol PID Untuk Motor DC Dengan Simulink Matlab", Jurnal Polimedia, Vol. 13, No. 4 (2010).
- Syahrul, "Karakteristik dan pengontrolan motor servo", Majalah Ilmiah Unikom, Vol. 8, No. 2, Halaman 147.
- Samsul Arifin, Akhmad Fatoni, "Pemanfaatan Pulse Width Modulation Untuk Mengontrol Motor", Jurnal Ilmiah Teknologi Vol. 8, No. 2, Agustus 2014.
- Ratih Novie Arini dan Djoko Sungkono Kawano, "Pengaruh Variasi Duty Cycle Pada Pulse Width Modulation Terhadap Performa Generator Gas HHO Tipe Basah (Wet Cell) 9 Plat SS 316L 10×10 mm.

- Djiwo Harsono, Joko Sunardi, Desi Biantara, "Pemantauan Suhu Dengan Mikrokontroler Atmega8 Pada Jaringan Lokal", Seminar Nasional IV Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Nopember 2009 halaman 416.
- Anizar Indriani, Johan, Yovan Witanto, Hendra, "Pemanfaatan Sensor Suhu LM 35 Berbasis Mikrokontroller ATmega8535 Pada Sistem Pengontrolan Temperatur Air Laut Skala Kecil", Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 5, No. 2, 2014; 183-192.
- Rozali Toyib, Juni Hidayatullah, "Aplikasi Remot Kontrol CPU/Laptop Jarak Jauh Dengan Media Serial Handphone Dengan Mikrokontroller", Jurnal Pseudocode Vol. III No. 1, Februari 2016.
- Arief Hendra Saptadi, "Perbandingan Kecepatan Pencacahan Antara Timer 0(8 Bit) dengan Timer 1(16 Bit) Pada Sistem Mikrokontroler", Jurnal Infotel Vol. 3 No. 2, November 2011.
- Muhamad Ali, "Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan software Matlab", Jurnal Edukasi@elektro, Vol. 1, No. 1, Oktober 2014, hlm. 1-8.