

Kontrol *Trakcing* Laras Meriam 57mm dengan Menggunakan *Hybrid* Kontrol Logika *Fuzzy* - PID

Jeki Saputra, M. Aziz Muslim, dan Rini Nur Hasanah

Abstrak—Laras meriam adalah salah satu bagian besar dari kontruksi meriam 57mm S-60 dalam sistem senjata Arhanud, dimana laras berfungsi untuk memberikan arah jalannya proyektil serta memberikan gerakan berputarnya proyektil agar stabil. Meriam Arhanud kaliber 57mm S-60 masih menggunakan peralatan yang masih manual dan digerakkan oleh tenaga manusia dalam mengarahkan laras pada saat menghadapi arah datangnya pesawat (target).

Penelitian ini difokuskan untuk mewujudkan sebuah pengendali dengan menggunakan metode kontroler *Hybrid* (KLF) - *PID*. Dengan penerapan pengendali *Hybrid* (KLF) - *PID* diharapkan dapat dipertahankan kestabilan arah laras meriam ketika laras bergerak menuju arah yang dikehendaki baik menuju arah azimuth maupun elevasi atau tanpa gangguan dan dapat digunakan lebih lanjut sebagai bahan untuk riset tentang sistem kontrol.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sistem kendali gerak laras meriam 57mm S-60 dengan menggunakan metode *hybrid control logika fuzzy*(KLF)-*PID* telah berjalan sesuai dengan yang diharapkan, dimana gerak laras pada posisi elevasi maupun azimuth telah sesuai dengan data masukan yang diberikan melalui *joystick*.

Kata Kunci—laras meriam, *logika fuzzy*, *PID*, *hybrid control logika fuzzy-PID*, *arduino mega 2560*.

I. PENDAHULUAN

UNJUK kerja suatu meriam diantaranya ditentukan oleh sistem kendali dan stabilisasi gerak laras meriam. Saat ini, sistem kendali dan stabilisasi gerak laras meriam umumnya masih didatangkan dari luar negeri secara utuh sehingga bila diperlukan perbaikan atau penggantian masih harus dilakukan oleh pihak asing [1].

Arhanud (Artileri Pertahanan Udara) bertugas menyelenggarakan pertahanan udara aktif untuk menghancurkan, meniadakan atau mengurangi daya guna dan hasil guna segala bentuk ancaman udara musuh dengan menggunakan meriam dan peluru kendali darat udara, dalam rangka Pertahanan Udara (Hanud) di medan operasi maupun Pertahanan Udara Nasional (Hanudnas). Laras meriam adalah salah satu bagian

besar dari kontruksi meriam 57mm S-60 dalam sistem senjata Arhanud, dimana laras berfungsi untuk memberikan arah jalannya proyektil serta memberikan gerakan berputarnya proyektil agar stabil. Meriam Arhanud kaliber 57mm S-60 masih menggunakan peralatan yang masih manual dan digerakkan oleh tenaga manusia dalam mengarahkan laras pada saat menghadapi arah datangnya pesawat (target).

Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu adanya suatu perangkat / sistem yang dapat membantu tugas penembak meriam dalam hal mengarahkan kedudukan laras sesuai dengan yang dikehendaki. Oleh karena itu dalam penelitian ini, yang menjadi pokok bahasan adalah membuat suatu sistem kontrol yang dapat mengarahkan laras meriam Arhanud kaliber 57mm S-60 pada posisi azimuth atau elevasi yang diinginkan. Dengan kondisi tersebut, diperlukan perancangan suatu alat serta suatu metode pengendalian.

Dalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol proporsional, aksi kontrol integral dan aksi kontrol derivatife. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *risetime* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot* [2]. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan *risetime* yang tinggi dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID, dan pada penelitian ini sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali PID digital. Di lain pihak juga berkembang suatu teknologi dimana kita tidak lagi memakai cara konvensional untuk mendapatkan suatu hasil yang kita inginkan dengan memakai persamaan matematika. Tetapi kita menerapkan suatu sistem kemampuan manusia untuk mengendalikan sesuatu, yaitu dalam bentuk aturan-aturan Jika – maka (If – Then Rules), sehingga proses pengendalian akan mengikuti pendekatan secara linguistik, sistem ini disebut dengan sistem kendali logika fuzzy, yang mana sistem kendali logika fuzzy ini tidak memiliki ketergantungan pada variabel-variabel proses kendali [3]. Dalam kasus ini metode alternatif yang digunakan adalah logika fuzzy. Metode logika fuzzy ini digunakan untuk menentukan nilai K_p ,

Jeki Saputra adalah Prajurit TNI AD Lemjiantek/STTAD dan Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: jeki8422@yahoo.co.id)

M. Aziz Muslim adalah Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, (Telp: 085815170109, email: muhazim2@gmail.com)

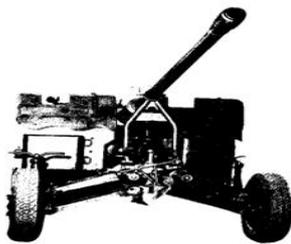
Rini Nur Hasanah adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.081334510268; email : rininurhasanah@gmail.com).

Ki dan Kd dari kontroler *Hybrid* Kontrol Logika Fuzzy (KLF) - PID yang digunakan dalam pengaturan sudut motor sehingga sudut motor dapat dipertahankan sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan.

II. DASAR TEORI

A. Meriam 57mm S-60

Meriam 57 mm S-60 adalah salah satu alat utama sistem senjata yang dimiliki oleh satuan Arhanud. Meriam ini adalah meriam sasaran udara 57 mm S- 60 bekerja atas dasar tekanan gas dan dapat ditembakkan secara otomatis dan tunggal dengan cara melepaskan pedal tembak karena tidak dilengkapi dengan tuas atur tembak (TAT). Dalam penggolongannya digunakan oleh satuan Artileri Pertahanann Udara Sedang, dimana dalam satu pucuk meriam dilayani oleh delapan awak meriam. Meriam 57mm S-60 dapat dilihat pada Gambar, 1.

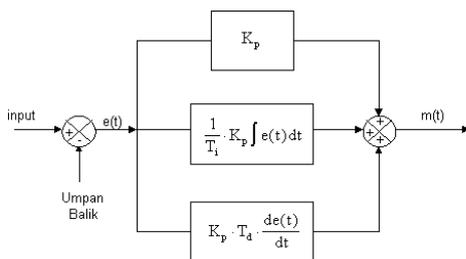


Gambar. 1. Meriam 57mm S-60

B. Kontrol PID

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Disamping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolok ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan [4]. Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut :



Gambar. 2. Diagram Blok Kontroler PID

$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \dots(1)$$

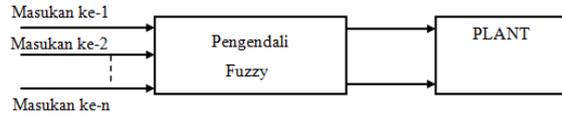
Dalam transformasi *laplace* dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \dots\dots\dots(2)$$

Gambar 2 menunjukkan diagram blok kontroler PID

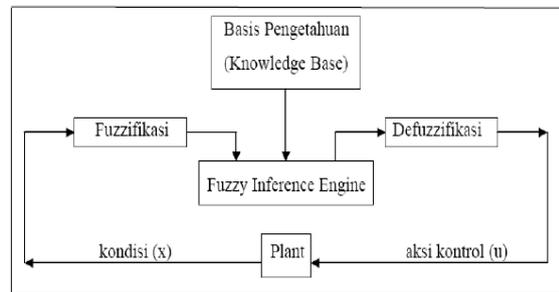
C. Kontrol Logika Fuzzy (KLF)

Dalam sistem pengendalian dengan logika *fuzzy* dilibatkan suatu blok pengendali yang menerima satu atau lebih masukan dan mengumpangkan satu atau lebih keluaran ke *plant* atau blok lain sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.



Gambar. 3. Pengendai Fuzzy

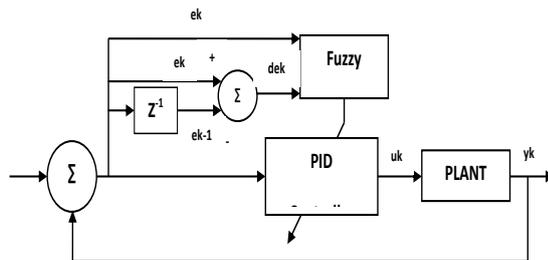
Komponen utama penyusun KLF adalah unit fuzzifikasi, fuzzy inference, basis pengetahuan dan unit defuzzifikasi. Struktur dasar KLF dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar. 4. Struktur Dasar Logika Fuzzy

D. Hybrid Kontrol Logika Fuzzy (KLF) – PID

Hybrid KLF - PID adalah sistem kontrol yang menggabungkan serta memanipulasi antara kontrol logika fuzzy dan PID.



Gambar. 5. Hybrid Kontrol Logika Fuzzy (KLF) – PID

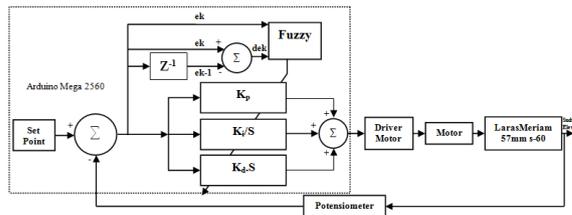
Proses *Hybrid* KLF - PID sesuai dengan Gambar 5 berada pada unit defuzzifikasi dari kontroler logika *fuzzy*, di mana hasil keluaran unit ini adalah parameter *gain* untuk kontroler PID.

III. PERANCANGAN ALAT

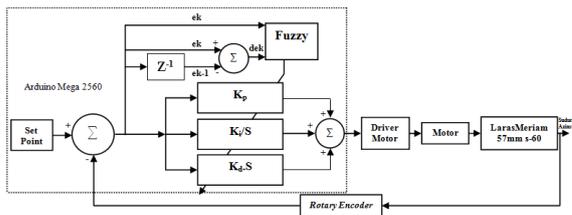
A. Perancangan Diagram Blok Alat

Pembuatan sistem terdiri dari pembuatan elektrik, mekanik hingga perangkat lunak, tahapan yang dilakukan pertama adalah merancang sistem sesuai dengan kebutuhan sistem berdasarkan landasan teori yang telah dibuat. Perancangan blok diagram sistem

pengendalian tracking laras meriam 57mm S-60 (dalam bentuk miniatur) ditunjukkan dalam Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar. 6. Diagram Blok Sistem Hybrid Kontrol Logika Fuzzy (KLF) – PID Sudut Elevasi



Gambar . 7. Diagram Blok Sistem Hybrid Kontrol Logika Fuzzy (KLF) – PID Sudut Adzimuth

B. Perancangan Mekanik Alat

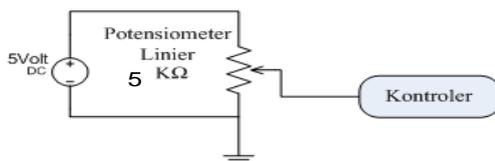
Pada perancangan mekanik sistem terdiri dari satu buah miniatur laras meriam, dua buah motor DC, satu buah sensor rotary encoder, satu buah potensiometer, satu buah joystick, beserta kotak elektrik sistem yang dilengkapi dengan LCD. Bentuk mekanik sistem ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar. 8. Perancangan Mekanik Sistem

C. Perancangan Potensiometer.

Potensiometer linier digunakan sebagai pengukur posisi sudut putaran motor DC.



Gambar. 9. Rangkaian Potensiometer

Penempatan sensor ini tepat sejajar dengan motor DC, jadi setiap perubahan sudut putar dari motor DC

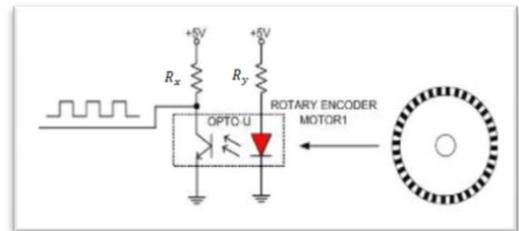
akan ikut mempengaruhi perubahan resistansi pada kaki potensiometer linier. Sistem perancangan dan hasil perancangan potensiometer linier ditunjukkan pada gambar 9 dan 10.



Gambar. 10. Potensiometer Pada Sistem

D. Perancangan Rotary Encoder

Dalam rangkaian sensor rotary encoder, yang diperlukan adalah komponen berupa piringan acrylic dan optocoupler. Pada sensor ini optocoupler digunakan untuk mendapatkan frekuensi on/off dari putaran sensor. Optocoupler yang digunakan adalah optocoupler U dengan model T. Optocoupler ini diletakkan diantara sisi piringan acrylic yang terdapat lubang-lubang yang disediakan untuk melewatkan cahaya dari LED menuju optocoupler. Komponen ini merupakan kombinasi inframerah dan photodiode sebagai pemancar dan penerima cahaya. Perancangan sensor rotary encoder ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar. 11. Perancangan Sensor Rotary Encoder

E. Perancangan Kontroler Logika Fuzzy

Langkah awal merancang kontroler logika fuzzy adalah menentukan variabel masukan dan variabel keluaran.



Gambar. 12. Diagram Alir Program Kontrol Logika Fuzzy

Langkah kedua adalah fuzzifikasi. Langkah ketiga adalah kaidah atur control logika fuzzy. Dan langkah

terakhir adalah defuzzifikasi.

Dari Penjelasan diatas maka diagram alir program kontrol logika *fuzzy* pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 12.

▪ Variabel Masukan dan Keluaran

Sistem kontrol logika *fuzzy* yang dikembangkan dalam penelitian ini mempunyai dua *crisp input* yaitu *error* posisi dan *delta error* posisi serta tiga *crisp output* yaitu parameter *Kp*, *Ki*, dan *Kd*. *Error* dan $\Delta Error$, didefinisikan dengan perumusan sebagai berikut:

$$Error(t) = SP - PV(t) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana,

SP = *Set point* (Nilai yang diinginkan)

PV(t) = *Present Value* pada waktu *t* (Nilai aktual)

$$\Delta Error(t) = Error(t) - Error(t-1) \dots \dots \dots (4)$$

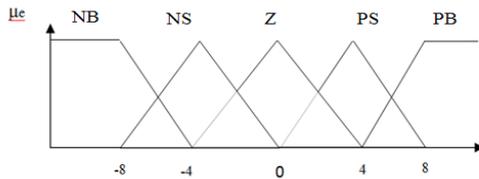
Dimana,

Error(t) = *Error* pada waktu *t*

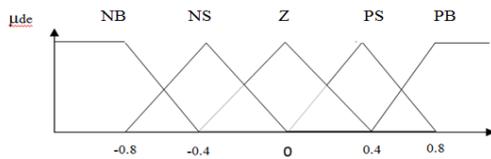
Error(t-1) = *Error* pada waktu (*t-1*)

▪ Fungsi Keanggotaan Masukan

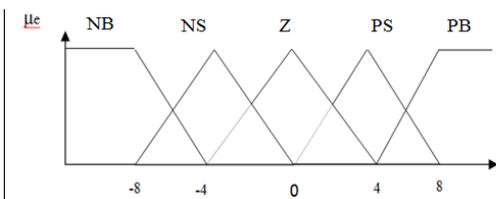
Fungsi keanggotaan dari *error* dan *delta error* terdiri dari lima label yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positive Small* (PS), *Positive Big* (PB).



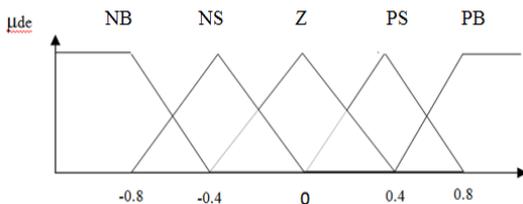
Gambar. 13. Fungsi Keanggotaan Masukan *Error* Sudut Adzimuth



Gambar.14 . Fungsi Keanggotaan Masukan *Delta Error* Sudut Adzimuth



Gambar. 15. Fungsi Keanggotaan Masukan *Error* Sudut Elevasi



Gambar. 16. Fungsi Keanggotaan Masukan *Delta Error* Sudut Elevasi

Error adalah nilai *set point* dikurangi nilai sebenarnya, sedangkan *delta error* didapat dari *error* nilai sudut sekarang dikurangi dengan *error* nilai sudut

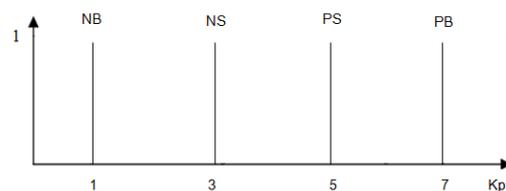
yang sebelumnya. *Membership function* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 13, 14, 15 dan 16.

▪ Fungsi Keanggotaan Keluaran

Fungsi keanggotaan keluaran motor *Direct Current* (DC) merupakan representasi susut *tracking* laras meriam dan besarnya nilai PWM yang dikeluarkan oleh Arduino berupa hasil dari perhitungan Metode defuzzifikasi *Singleton* yang telah dibulatkan oleh integer di dalam pemrograman. Pemilihan defuzzifikasi sebagai penentu keluaran dipilih dengan alasan agar mempercepat eksekusi program dan kapasitas program yang ditulis tidak melebihi kapasitas memori dari Arduino sebesar 256 kilobyte.

▪ Metode keluaran Sugeno

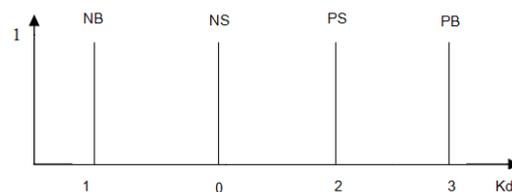
Sama seperti fungsi keanggotaan pada masukan, perlu dibuat beberapa fungsi keanggotaan keluaran dengan tujuan menyesuaikan karakteristik kenaikan kecepatan pada alat ekstraksi.



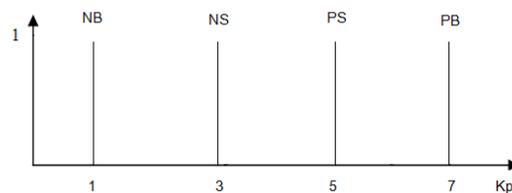
Gambar. 17. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai *Kp* untuk sudut Adzimuth menggunakan Metode Sugeno



Gambar. 18. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai *Ki* untuk sudut Adzimuth menggunakan Metode Sugeno



Gambar. 19. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai *Kd* untuk sudut Adzimuth menggunakan Metode Sugeno



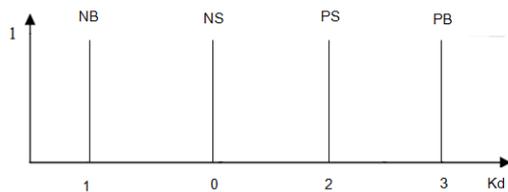
Gambar. 20. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai *Kp* untuk sudut Elevasi menggunakan Metode Sugeno

Himpunan keluaran logika *fuzzy* merupakan representasi hasil dari keputusan dalam bentuk variasi nilai *Kp*, *Ki*,

dan Kd menggunakan metode sugeno yang memiliki nilai yang monoton. Fungsi keanggotaan keluaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 17, 18, 19, 20, 21 dan 22.



Gambar. 21. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai Ki untuk sudut Elevasi menggunakan Metode Sugeno



Gambar. 22. Fungsi Keanggotaan Keluaran nilai Kd untuk sudut Elevasi menggunakan Metode Sugeno

Keterangan:

- NB : *Negatif Big*
- NS : *Negatif Small*
- PS : *Positif Small*
- PB : *Positif Big*

▪ Perancangan Aturan Fuzzy

Rule (aturan) fuzzy digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi, dengan jumlah rule 25 macam.

TABEL I
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Kp PADA SUDUT ADZIMUTH

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

TABEL II
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Ki PADA SUDUT ADZIMUTH

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

TABEL III
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Kd PADA SUDUT ADZIMUTH

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

Rule tersebut didapat dari 5 membership function

error dan 5 membership function delta error. Tabel I s/d VI menunjukkan aturan fuzzy untuk nilai Kp, Ki dan Kd.

TABEL IV
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Kp PADA SUDUT ELEVASI

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

TABEL V
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Ki PADA SUDUT ELEVASI

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

TABEL VI
ATURAN FUZZY UNTUK NILAI Kd PADA SUDUT ELEVASI

		e				
		NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	PB	PB	PB	PS	PS
	NS	PB	PB	PS	NS	NS
	Z	PB	PS	NS	NS	NB
	PS	PS	PS	NS	NB	NB
	PB	PS	NS	NS	NB	NB

▪ Metode Inferensi Min-Max

Pada metode Min-Max aturan operasi minimum Mamdani digunakan untuk implikasi fuzzy. Persamaan aturan minimum adalah

$$\mu_{C'} = \bigcup_1^n \alpha_i \wedge \mu_{ci} \dots\dots\dots(5)$$

dengan $\alpha_i = \mu_{Ai}(x_0) \wedge \mu_{Bi}(y_0) \dots\dots\dots(6)$

▪ Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses untuk mengubah keluaran fuzzy menjadi keluaran crisp. Hasil defuzzifikasi inilah yang digunakan untuk mengatur besarnya nilai Kp, Ki dan Kd. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah Singleton.

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n w_i u_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

- U = Keluaran
- w_i = Bobot nilai benar w_i
- u_i = Nilai linguistik pada fungsi keanggotaan keluaran
- n = Banyak derajat keanggotaan

F. Perancangan Kontroler PID

Variabel masukan untuk kontrol PID terdapat tiga yaitu kemiringan (error) (e), (derror) (de/dt) dan (summingerror) (∫ e dt), dan variable keluaran berupa duty cycle untuk PWM motor DC.

Persamaan PID continue harus diubah ke dalam diskrit:

$$\omega = K_p e_\omega + K_i \int e_\omega dt + K_d de_\omega/dt$$

$$e_\omega(n) = \omega_{sp} - \omega(n)$$

$$\omega = d\theta/dt$$

$$\omega_{sp} = (\theta_{sp} - \theta(n))/T$$

$$\omega(n) = (\theta(n) - \theta(n-1))/T$$

sehingga:

$$e_\omega(n) = (\theta_{sp} + \theta(n-1) - 2\theta(n))/T$$

$$\int e_\omega dt = \sum e_\omega$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$\omega = K_p e_\omega(n) + K_i \sum e_\omega + K_d (\theta_{sp} + \theta(n-1) - 2\theta(n))/T \dots (8)$$

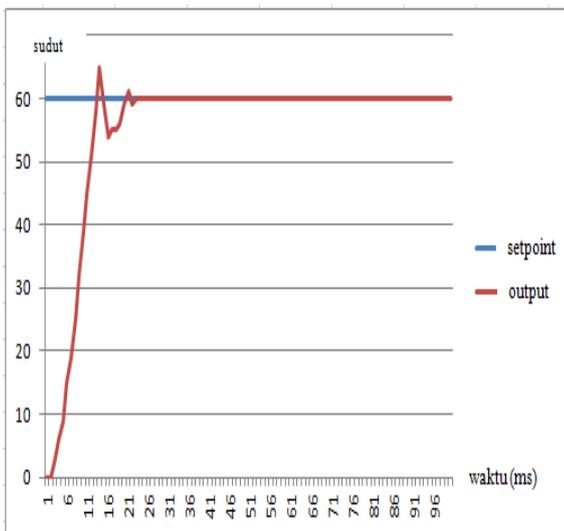
- Dimana :
- ω = Kecepatan sudut ADC
 - $\omega(n)$ = Kecepatan sudut sekarang
 - $\omega(n-1)$ = Kecepatan sudut sebelumnya
 - $\theta(n)$ = Sudut sekarang
 - $\theta(n-1)$ = Sudut sebelumnya
 - $\theta_{setpoint}$ = Sudut yang diinginkan
 - e_ω = Error kecepatan sudut adc
 - $\sum e_\omega$ = Penjumlahan error kecepatan sudut adc
 - K_p = Konstanta *Proporsional*
 - K_i = Konstanta *Integral*
 - K_d = Konstanta *Derrivatif*
 - T = *Time Sampling*
 - sp = *Setpoint*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan prosedur pengujian dengan beberapa *tuning* yang berbeda untuk setiap nilai keluaran NB, NS, PS dan PB maka didapatkan hasil keluaran sistem dan tampilan ruang solusi untuk masing-masing sistem. Berikut hasil pengujian sistem dengan keluaran yang berbeda:

A. Hasil pengujian pada sudut adzimuth.

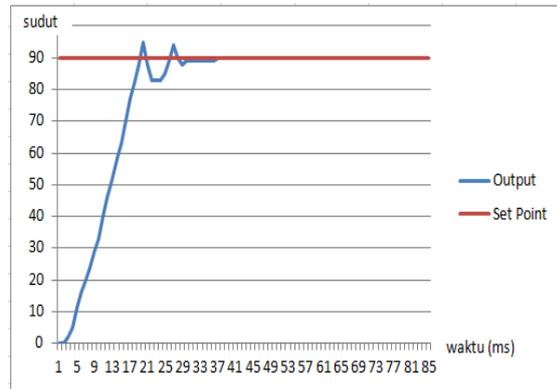
Grafik Hubungan Sudut Adzimuth terhadap Waktu



Gambar. 23. Grafik Respon Sistem untuk setpoint 60⁰

Grafik respon keluaran pada Gambar 23 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan setpoint 60⁰, time sampling 20ms, rise time 0.28second, menetap pada sampling ke 23 dan menetap pada waktu 0.46 second.

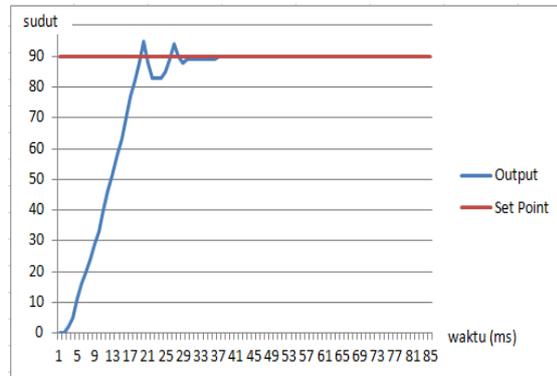
Grafik Hubungan Sudut Adzimuth terhadap Waktu



Gambar. 24. Grafik Respon Sistem untuk setpoint 90⁰

Grafik keluaran pada Gambar 24 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan setpoint 90⁰, time sampling 20ms, rise time 0.28second, menetap pada sampling ke 37 dan menetap pada waktu 0.46 second.

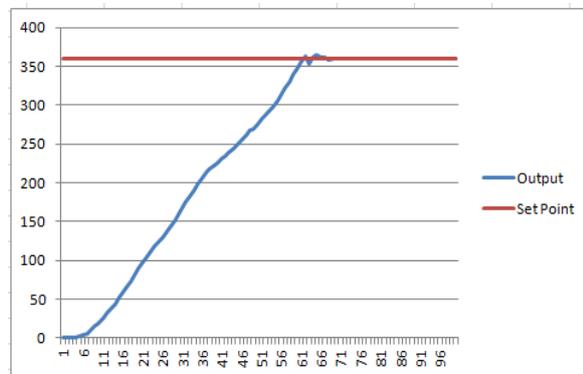
Grafik Hubungan Sudut Adzimuth terhadap Waktu



Gambar. 25. Grafik Respon Sistem untuk setpoint 180⁰

Grafik keluaran pada Gambar 25 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan setpoint 180⁰, time sampling 20ms, rise time 0.72second, menetap pada sampling ke 41 dan menetap pada waktu 0.82 second.

Grafik Hubungan Sudut Adzimuth terhadap Waktu

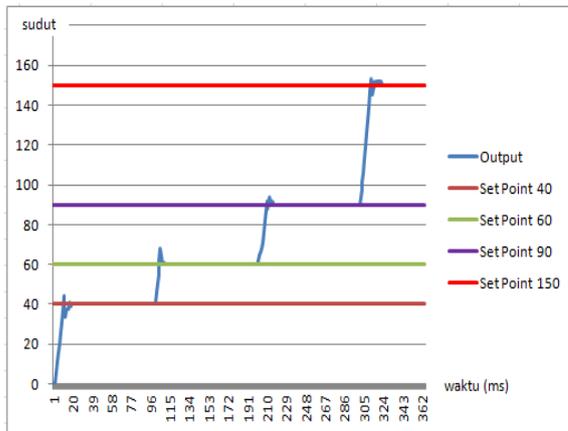


Gambar. 26. Grafik Respon Sistem untuk setpoint 360⁰

Grafik keluaran pada Gambar 26 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan setpoint 360⁰, time sampling 20ms, rise time 1.24second, menetap pada

sampling ke 69 dan menetap pada waktu 1.38second.

Grafik Hubungan Sudut Adzimuth yang berubah-ubah terhadap Waktu



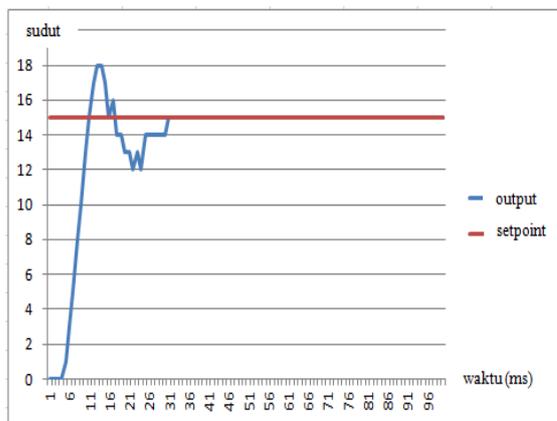
Gambar. 27. Grafik Respon Sistem untuk *setpoint* berubah-ubah

Grafik keluaran pada Gambar 27 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan *setpoint* 40^0 , 60^0 , 90^0 , dan 150^0 . Time sampling 20ms. Grafik respon menunjukkan bahwa sistem dapat mengikuti perubahan set point yang berubah-ubah.

Dari hasil pengujian sistem untuk arah adzimuth dengan sudut yang berbeda-beda yang terlihat pada gambar grafik 23, 24, 25 dan 27, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut yang dicapai, maka rise time dan waktu menetapnya semakin besar pula. Akan tetapi untuk error stady state 0%. Artinya bahwa keluaran sistem sudah sesuai dengan perancangan yang diinginkan baik pada *setpoint* tetap maupun dengan *setpoint* berubah-ubah, dan dari hasil perhitungan juga didapatkan persentase *error* terkecil dibandingkan keluaran sistem yang lainnya.

B. Hasil pengujian pada sudut elevasi.

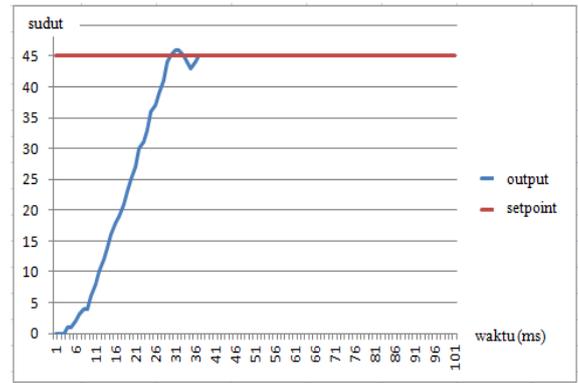
Grafik Hubungan Sudut Elevasi terhadap Waktu



Gambar. 28. Grafik Respon Sistem untuk *setpoint* 15^0

Grafik keluaran pada Gambar 28 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan *setpoint* 15^0 , time sampling 20ms, rise time 0.26second, menetap pada sampling ke 31 dan menetap pada waktu 0.62 second.

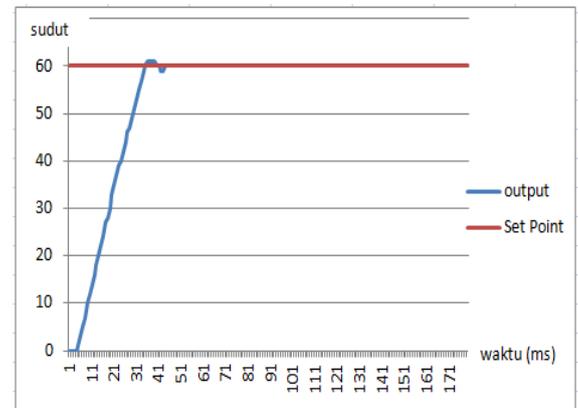
Grafik Hubungan Sudut Elevasi terhadap Waktu



Gambar. 29. Grafik Respon Sistem untuk *setpoint* 45^0

Grafik keluaran pada Gambar 29 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan *setpoint* 45^0 , time sampling 20ms, rise time 0.62second, menetap pada sampling ke 37 dan menetap pada waktu 0.74 second.

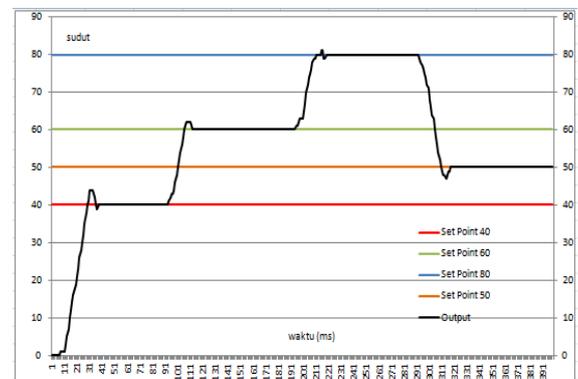
Grafik Hubungan Sudut Elevasi terhadap Waktu



Gambar. 30. Grafik Respon Sistem untuk *setpoint* 60^0

Grafik keluaran pada Gambar 30 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan *setpoint* 60^0 , time sampling 20ms, rise time 0.72second, menetap pada sampling ke 44 dan menetap pada waktu 0.88 second.

Grafik Hubungan Sudut Elevasi terhadap Waktu



Gambar. 31. Grafik Respon Sistem untuk *setpoint* Berubah-ubah⁰

Grafik keluaran pada Gambar 31 merupakan nilai keluaran NB, NS, PS dan PB dengan *setpoint* 40^0 , 60^0 , 80^0 , dan 50^0 . Time sampling 20ms. Grafik respon

menunjukkan bahwa sistem dapat mengikuti perubahan set point yang berubah-ubah.

Dari hasil pengujian sistem untuk arah elevasi dengan sudut yang berbeda-beda yang terlihat pada Gambar grafik 28, 29, 30 dan 31, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut yang dicapai, maka rise time dan waktu menetapnya semakin besar pula. Akan tetapi untuk error steady state 0%. Artinya bahwa keluaran sistem sudah sesuai dengan perancangan yang diinginkan baik pada *setpoint* tetap maupun dengan *setpoint* berubah-ubah, dan dari hasil perhitungan juga didapatkan persentase *error* terkecil dibandingkan keluaran sistem yang lainnya.

C. Perbandingan Unjuk Kerja Hybrid (KLF)- PID dengan KLF (Desydarius, 2010)

TABEL VII
PERBANDINGAN UNJUK KERJA HYBRID (KLF)-PID DENGAN KLF

Arah Laras	Set Point	Hybrid (KLF)-PID		KLF (Desydarius,2010)	
		Out	Error Steady State	Out	Error Steady State
	0°	0°	0°	0°	0%
Elevasi	15°	15°	0°	14.8°	0.9866%
	45°	45°	0°	44.75°	0.9944%
	60°	60°	0°	59.8°	0.9966%
	90°	-	-	89.8°	0.9977%
Adzimuth	60°	60°	0°	58.85°	0.9808%
	90°	90°	0°	89.85°	0.9808%
	180°	180°	0°	179.6°	0.9977%
	360°	360°	0°	359.5°	0.7208%
Error rata-rata		0°		0.9591%	

TABEL VIII
PERBANDINGAN UNJUK KERJA HYBRID (KLF)-PID DENGAN KLF

Arah Laras	Set Point	Hybrid (KLF)-PID		KLF (Desydarius,2010)	
		Out	Rise Time	Out	Rise Time
	0°	0°	0	0°	0
Elevasi	15°	15°	0.26	14.8°	0.057
	45°	45°	0.62	44.75°	0.16
	60°	60°	0.72	59.8°	0.203
	90°	-	-	89.8°	0.295
Adzimuth	60°	60°	0.28	58.85°	0.204
	90°	90°	0.54	89.85°	0.292
	180°	180°	0.72	179.6°	2.2
	360°	360°	1.24	359.5°	3.5
Error rata-rata		0.625		0.945	

Perbandingan dari hasil pengujian keseluruhan yang dilakukan menggunakan *Hybrid (KLF)-PID* dengan *KLF*, dengan memberikan *setpoint* pada sudut elevasi dan adzimuth yang berbeda-beda, dapat dilihat pada tabel Tabel VII dan VIII.

Dari hasil perbandingan error steady state dan error rise time yang ditunjukkan pada tabel VII dan VIII , *hybrid KLF-PID* memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibanding dengan unjuk kerja *KLF*.

V. KESIMPULAN

Sistem kendali gerak laras meriam 57mm S-60 dengan menggunakan metode *hybrid control logika fuzzy(KLF)-PID* telah berjalan sesuai dengan yang diharapkan, dimana gerak laras pada posisi elevasi maupun azimuth telah sesuai dengan data masukan yang diberikan melalui *joystick*, dimana error steady state yang diperoleh sebesar 0% dan rise time rata-rata 0.625s.

Metoda *hybrid control logika fuzzy(KLF)-PID* yang digunakan telah dapat mengolah data masukan yang diberikan, dimana keluarannya dapat menggerakkan laras ke posisi elevasi maupun azimuth.

Sebagai saran Untuk memperoleh hasil yang lebih baik lagi selain pengendalian gerak laras meriam maka disarankan untuk ditambahkan pembedikan dari jarak jauh, sehingga dalam pergerakan laras meriam dari jarak jauh bisa langsung dilakukan pembedikan secara jarak jauh pula.

Dalam penempatan posisi meriam perlu diperhatikan faktor gangguan yang mungkin terjadi seperti : berat laras, gaya beban laras setelah penembakan, sehingga perlu adanya penambahan suatu sistem yang dapat menyeimbangkan posisi laras setelah terjadi penembakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indrawanto,Ir,Dr.2007.Pengembangan Sistem Kendali dan Stabilisasi Gerak Laras Meriam,LPPM-ITB.
- [2] Takahashi, T. Noguchi, IEEE Trans. Industry Appl. 22 (1986) 820.
- [3] M. Depenbrok, IEEE Trans. On Power Electronics 3 (1988) 420.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [5] Desyderius M., 2010. Analisis Pengaturan Sudut Azimuth Dan Elevasi Pengarah Laras Meriam Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic. Universitas Brawijaya.