

Desain Sistem Pengendalian Posisi Azimuth Turret Gun Berbasis Hybrid Fuzzy-PD Controller dengan Software MATLAB

Ahmad Shohibul Mirbath

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
e-mail: ahmad.17050874030@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimamto, Endryansyah, I Gusti Putu Asto Buditjahjanto

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id, endryansyah@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id

Abstrak

Turret gun dapat didefinisikan sebagai alat pertahanan negara berupa senjata laras panjang yang memiliki mekanisme berputar ke arah *azimuth* dan elevasi serta dapat difungsikan dari jarak jauh pada *platform* tempur seperti tank. Kecepatan dan keakuratan untuk mencapai posisi sudut yang ditentukan merupakan aspek penting dari kinerja *turret gun*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menggunakan kendali *Fuzzy-PD* sebagai pengendali posisi sumbu *azimuth* sistem *turret gun* dan menampilkan hasilnya dalam *MATLAB* 2018. Kontroler *Fuzzy-PD* yang dirancang mempunyai 5 fungsi keanggotaan dan 25 basis aturan berhasil mendapatkan respon sesuai *setpoint* yang diberikan serta dapat mengurangi *Ess* (*Error steady state*). Hasil dari penelitian ini memperlihatkan respon sistem *turret gun* dengan menggunakan *Fuzzy-PD* sebagai pengendali dapat mencapai kondisi yang dibutuhkan dengan *rise time* (*tr*) = 0,0022 detik, *Settling time* (*ts*) = 0,1323 detik, *overshoot* = 0,0016%, dan *Time peak* (*tp*) = 4.0024, *error steady state* (*Ess*) = 0.025%.

Kata Kunci: *azimuth, Fuzzy-PD, Turret Gun.*

Abstract

A *turret gun* can be defined as a state defense tool in the form of a long-barreled weapon that has a rotating mechanism towards *azimuth* and elevation and can be used remotely on a combat platform such as a tank. Speed and accuracy for reaching the specified angular position are important aspects of *turret gun* performance. This study aims to design and use the *Fuzzy-pd* control to control the *azimuth* axis position of the *turret gun* system and display the results in *MATLAB* 2018. *Fuzzy-PD* controller which is designed to have 5 membership functions and 25 rule bases successfully gets a response according to the given *setpoint* and can reduce *ESS* (*steady state error*). The results of this study show that the response of the *turret gun* system using *Fuzzy-pd* as a controller can achieve the required conditions with *rise time* (*tr*) = 0.0022 seconds, *settling time* (*ts*) = 0.1323 seconds, *overshoot* = 0.0016% . , and the *peak time* (*tp*) = 4.0024, *steady state error* (*Ess*) = 0.025%.

Keywords: *azimuth, Fuzzy-PD, Turret Gun.*

PENDAHULUAN

Negara dapat di katakan kuat apabila mempunyai pertahanan yang canggih. (Wisnu, dkk., 2016) Dalam suatu Negara pertahanan merupakan salah satu upaya dalam melindungi dan mempertahankan kedaulatan Negara. Pertahanan dalam sebuah Negara dapat di dukung dengan kecanggihan sarana dan prasarana, maka diciptakan-lah senjata sebagai alat pertahanan sebuah Negara dan menjadi prioritas pertahanan negara dari serangan musuh.

Pada tahun 2016 Pindad dan pemerintahan Indonesia telah bekerja sama dalam mengembangkan alat dan perlengkapan militer sebagai bisnis industri persenjataan. Persenjataan yang diproduksi dan dikembangkan yakni, bahan peledak, senjata, amunisi dan kendaraan khusus. Pindad mengembangkan sekaligus memproduksi kendaraan khusus berupa tank menggunakan teknologi *turret gun*.

Turret gun memiliki sistem *mobile rifle* yang mengikuti arah dan sudut gerakan target untuk menembak target (Wisnu, dkk., 2016). Teknologi *turret gun* mampu mempermudah kerja militer dalam melumpuhkan target. Teknologi *turret gun* sedang dikembangkan dan memainkan peran penting pada kendaraan khusus militer Indonesia. Sumbu pergerakan *turret gun* berupa sumbu elevasi dan sumbu *azimuth*. Masing-masing sumbu memiliki batas gerak berotasi, yang mana pada sumbu elevasi rotasi nya hanya terbatas sebesar 70° untuk mengatur jarak target. Kemudian sumbu *azimuth* memiliki rotasi yang lebih besar yaitu 360° untuk bisa berputar mencapai titik koordinat yang diinginkan. (Tamara, dkk, 2018).

Penelitian mengenai *turret gun* sebelumnya telah dilakukan dengan pengendali PI menggunakan *first method Ziegler-Nichlos*. Hasil penelitian dan simulasi percobaan yang dilakukan pada *plant Turret gun* dengan kontroler PI untuk mengendalikan posisi *azimuth Turret gun*

mendapatkan nilai *rise time* (t_r) sebesar 1,672 detik dan MO 4,4%. (Afifah, 2019)

Pada tahun 2016 Danu Wisnu melakukan penelitian mengenai *Turret gun* menggunakan kendali *PID* sebagai pengatur gerakan sumbu *azimuth*. Peneliti mensimulasikan *turret gun* menggunakan model matematika yang diketahui. Besar kaliber peluru mempengaruhi besar dan ukuran *turret gun*, hal tersebut mengakibatkan *turret gun* semakin sulit dikendalikan. Akibatnya penargetan menjadi tidak cukup akurat saat membidik.

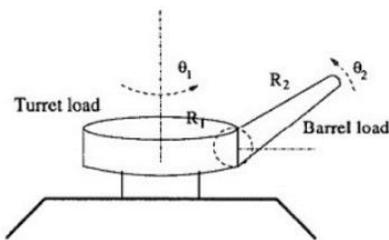
Penelitian ini bertujuan untuk merancang sekaligus mengontrol posisi *azimuth* sistem *turret gun* menggunakan kendali *fuzzy-pd* dan hasil ditampilkan pada *MATLAB* 2018. Pengendalian yang dirancang menggunakan sistem *MISO* dengan variabel input berupa *error* dan *delta error*. Menggunakan *fuzzy* dengan metode *mamdani*. Sedangkan untuk keluaran berupa nilai *PWM*. Dari hasil penelitian ini diharapkan memiliki hasil *rise time* dan *overshoot* yang lebih baik dari penelitian sebelumnya.

METODE

Turret Gun

Senjata dengan mekanisme rotasi dalam orientasi sumbu elevasi dan *azimuth* yang mengakibatkan senjata bisa ditembakkan ke berbagai arah merupakan definisi dari *turret gun*. Platform ini bisa diletakkan pada sebuah struktur kendaraan tempur dan sebuah bangunan. (Tamara, dkk., 2018).

Sistem dari *turret gun* terbagi menjadi dua bagian yakni *turret* dengan sumbu rotasi *azimuth*, dan *gun* dengan sumbu rotasi secara elevasi. Terdapat dua bagian dari *turret gun* berupa bagian yang dapat berputar (*turret*) dan laras (*gun*). Prinsip kerja dari sistem *turret gun* yakni menggerakkan senapan sesuai arah pergerakan target secara otomatis dari jarak jauh menggunakan *remote* kendali, sehingga para operator aman ketika mengendalikan. (Wisnu, dkk., 2016). Gambar1 menunjukkan skematik dari *Turret gun*.



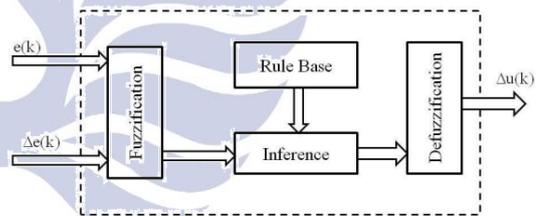
Gambar 1. Skema Sistem *Turret Gun*
(Sumber : Wisnu, dkk., 2016)

Kendali Fuzzy

Teori *Fuzzy* dikemukakan oleh L.A. Zadeh pertama kali pada tahun 1965 dan sudah banyak diterapkan dalam bidang industri dan otomasi. (Sutikno, 2015). Konsep logika *fuzzy* yaitu dengan mengubah logika klasik ke dalam bentuk logika dengan memetakan variabel kemungkinan bukan eksak hingga diperoleh sistem linguistik dari keadaan tidak pasti. (Prayogo, 2016).

Perancangan sistem kendali *fuzzy* terdiri dari tiga proses berupa *fuzzifikasi*, evaluasi rule dan *defuzzifikasi* Tiap proses mempunyai pengaruh terhadap respon sistem yang dikendalikan. Gambar 2 menunjukkan struktur *fuzzy logic controller*.

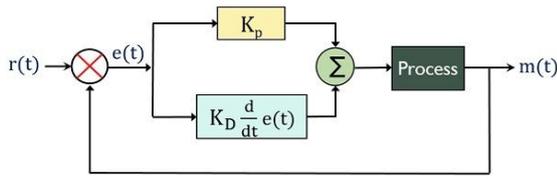
1. *Fuzzification* (Fuzzifikasi)
Proses perubahan nilai variabel berupa angka kedalam variabel linguistik.
2. *Rule Base* (Basis aturan)
kumpulan aturan berupa “*if then*” berupa variabel linguistik.
3. *Defuzzification* (Defuzzifikasi)
Proses merubah besaran *fuzzy* dalam bentuk himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaan. (Supriyono, 2011).



Gambar 2. Struktur *Fuzzy Logic Controller*
(Sumber : Radha dan Kishore, 2012)

Kendali PD

Sistem kendali PD terdiri dari Proporsional (*P*) dan kontrol Derivatif (*D*) dengan umpan balik yang memiliki tujuan untuk mempercepat respon sistem berupa *rise time* dan mereduksi osilasi pada saat *steady state*. Kendali *proposional* bisa mempercepat *rise time* dan kendali *derivative* dapat memperkecil nilai *error* dan *overshoot* atau *undershoot* yang dihasilkan. Pada kondisi *close loop* berkelanjutan, nilai kesalahan dihitung sebagai beda antara setpoint dan variabel terukur. Kendali meminimalisasi nilai kesalahan dengan melakukan penyetelan variabel kendali. (Ogata, 2010). Gambar 3 memperlihatkan struktur kendali PD pada *plant*.

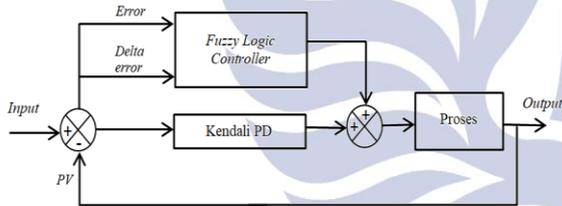


Gambar 3. Kendali PD pada *Plant*
(Sumber : Priambodo, 2017)

Hybrid Fuzzy-PD Controller

Sistem *hybrid* merupakan penggabungan lebih dari satu elemen berlainan menjadi satu kesatuan sistem. Pada sistem kontrol terdapat kemajuan teknologi hingga terciptanya kendali *hybrid* yang mana dalam sistem kendali ini mengintegrasikan lebih dari satu kontroler ke dalam suatu sistem (Prabowo, 2018).

Hybrid fuzzy-PD controller adalah sebuah gagasan yang dilakukan agar mendapatkan manfaat dari kedua kontroler. Kontrol *fuzzy* menjadi kontroler utama dalam sistem sedangkan kontrol PD adalah kontroler yang membantu untuk mereduksi *overshoot* dan osilasi di dalam sistem. (Purnama, 2016). Gambar 4 memperlihatkan struktur kendali *hybrid fuzzy-pd*.



Gambar 4. Struktur Kendali *Hybrid Fuzzy-PD*
(Sumber : Prabowo, 2018)

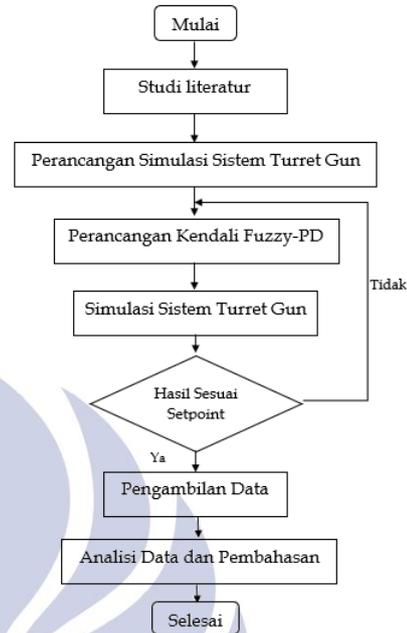
Pendekatan penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan berupa pendekatan penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif dapat diartikan sebagai sebuah proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat untuk menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui. (Kasiram 2008).

Penelitian dilakukan dengan menggunakan software *MATLAB* untuk merancang *fuzzy-pd* sebagai kendali, memperlihatkan respon sistem *Turret gun* serta membandingkan hasil respon dengan kendali dan tanpa kendali.

Rancangan Penelitian

Flowchart pada Gambar 5 memperlihatkan rancangan penelitian yang dilakukan.

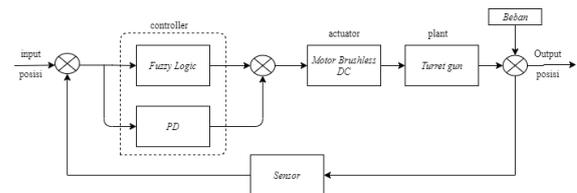


Gambar 5. *Flowchart* Rancangan Penelitian

Berdasarkan pada Gambar 5 penyusunan penelitian dimulai dengan studi literatur dari berbagai referensi seperti jurnal, skripsi, dan *ebook*. Kemudian dilanjutkan dengan membuat rancangan algoritma *fuzzy* dan rancangan kontroler PD. Setelah didapatkan rancangan algoritma *fuzzy* dan kontroler PD maka dilanjutkan dengan melakukan pengujian pada simulasi dalam beberapa kondisi menggunakan software *MATLAB* 2018, kemudian mengambil data dari simulasi yang dilakukan. Langkah terakhir yaitu mengamati dan menganalisis data respon *hybrid Fuzzy-PD controller* pada tiap kondisi.

Desain Sistem

Desain diagram blok *Turret gun* menggunakan *fuzzy-PD* sebagai pengendali diperlihatkan pada Gambar 6. Nilai input (*setpoint*) pada sistem *Turret gun* berupa posisi sudut sumbu *azimuth*.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi sistem *turret gun* akan dibahas serta ditampilkan hasil pengujian pada *software Matlab* 2018 pada bagian ini. Spesifikasi *hardware turret gun* didapat dari penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Nur Afifah.

Permodelan Sistem Turret gun

Respon *plant* dapat diketahui dengan mengidentifikasi *plant* yang digunakan untuk mencari fungsi alih. Berdasarkan dari *datasheet* motor dc dan komponen yang digunakan diperoleh parameter fisik dan diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Fisik Plant

No	Nama Alat	Notasi	Spesifikasi
1	Torsi Motor	K_t	0,0134
2	Rasio gigi	N	1 : 2,5
3	Resistansi motor	R_a	1,9
4	Tegangan konstan	K_b	2,117
5	Massa gun	m_2	0,01
6	Massa turret	m_1	0,025
7	Jari-jari turret	R_1	0,06
8	Tegangan motor	E_a	12
9	Jari-jari gun	R_2	0,22

Dari Tabel 1, dapat dicari fungsi alih *turret gun* dengan memasukkan nilai yang sudah diketahui kedalam variabel A, B, C, dan D untuk mempermudah ketika dimasukkan rumus ke *matlab*.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{NK_t K_b}{R_a(\frac{1}{2}m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2))} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{NK_t E_a}{R_a(\frac{1}{2}m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_2 R_1 R_2 \cos(\theta_2) \frac{1}{3} m_2 R_2^2 \cos^2(\theta_2))} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$C = (1 \ 0) \quad (3)$$

$$D = (0) \quad (4)$$

fungsi *Mathscript* merubah variabel state A,B,C,D menjadi *statespace* model :

$$StateSpace = ss (A,B,C,D)$$

Keterangan :

- A : Matrix State
- B : Matrix Input
- C : Matrix Output
- D : Matrix Transmisi

Keluaran dari *StateSpace* model *turret gun* yakni :

$$\frac{dx}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -15,9541 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 90,4345 \end{bmatrix} u(t) \quad (5)$$

$$y(t) = [1 \ 0]x(t) + [0]u(t) \quad (6)$$

Dari hasil persamaan *state space* didapatkan fungsi alih turret gun :

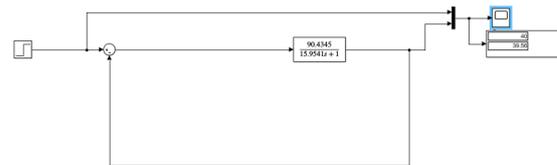
$$G(s) = \frac{90,4345}{15,9541s + 1}$$

Keterangan :

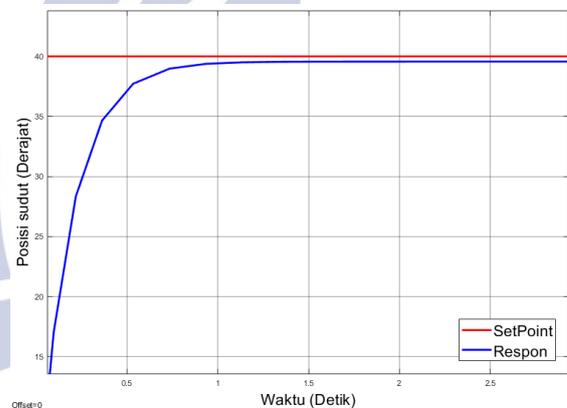
$G(s)$ = Fungsi alih pemodelan sistem

Blok Diagram MATLAB Untuk Simulasi Sistem

Fungsi alih dari *Plant Turret Gun* disimulasikan untuk melihat respon dari sistem. Gambar 7 menunjukkan diagram blok Simulasi yang dilakukan dengan loop tertutup tanpa kendali dan Gambar 8 menunjukkan respon sistem tanpa kendali.



Gambar 7. Diagram Loop Tertutup Tanpa Kendali



Gambar 8. Respon Sistem Loop Tertutup Tanpa Kendali

Gambar 8 menampilkan grafik respon tertutup tanpa kendali menunjukkan rise time yang lamban untuk mencapai *set point* yang ditentukan. Hal ini membuktikan jika sistem *turret gun* dapat dioptimalkan untuk mencapai posisi sudut yang ditentukan. Oleh karena itu diperlukan suatu kontroler agar dapat mengatur kecepatan motor sehingga dapat mencapai dan mempertahankan posisi sudut *turret gun*.

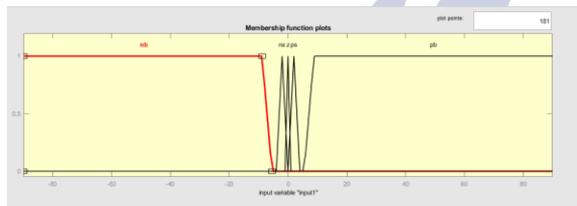
Pada penelitian ini penulis menggunakan *hybrid fuzzy-PD controller*. Setelah didapatkan nilai untuk parameter PD dengan menggunakan *tuning second method Ziegler-Nichols* dan pengendali *fuzzy* dengan metode *mamdani*, maka langkah selanjutnya yaitu dengan menggabungkan kedua kontroler tersebut ke dalam *plant* agar dapat mengatur kecepatan putaran *motor DC Brushless* sehingga didapatkan respon sistem sesuai dengan *set point*.

Perancangan Sistem Kendali

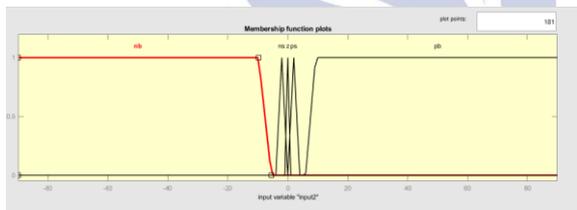
Nilai dari parameter K_p dan K_d didapatkan dengan menggunakan aturan *tuning* dari *second method Ziegler-Nichols*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari peneliti terdahulu didapatkan nilai untuk $K_p = 20.05$ dan $K_d = 2.184$.

Kendali logika *fuzzy* dalam kendali *hybrid* digunakan agar respon yang dihasilkan oleh kendali PD dapat lebih optimal. Masukan untuk logika *fuzzy* berupa *error* dan *delta error*. *Error* yaitu selisih nilai keluaran dengan nilai pembacaan sudut oleh sensor. Dan untuk *delta error* merupakan nilai selisih perubahan *error*.

Nilai fungsi keanggotaan (*membership function*) yang digunakan dalam merancang himpunan input *error* ditunjukkan Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan *delta error*.



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Input Error



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Input Delta Error

Semesta pembicaraan variabel input *error* dan *delta error* adalah besar *error* sudut awal ke sudut input yang ditentukan. Rentang nilai input dimulai dari -90° sampai 90° .

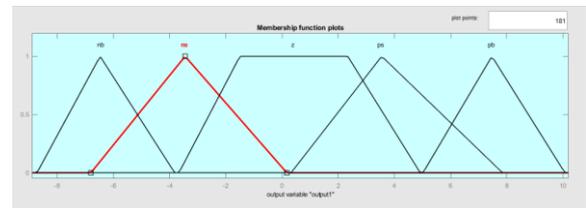
Tabel 2. Matrik Basis Aturan

e \ de	nb	ns	z	pb	ps
nb	nb	nb	ns	ns	z
ns	nb	ns	ns	z	ps
z	ns	ns	z	ps	ps
pb	ns	z	ps	ps	pb
ps	z	ps	ps	pb	pb

Dalam penelitian yang dilakukan himpunan *Fuzzy* dari setiap variabel *input error* dan *delta error* dibatasi sebanyak 5 bagian, yaitu *ns* (*negative small*), *nb* (*negative big*), *z* (*zero*), *ps* (*positive small*), dan *pb* (*positif big*). Fungsi keanggotaan dibuat dengan bentuk berupa kurva trapesium serta kurva segitiga. Variabel output *Fuzzy* berupa nilai *pwm* dengan rentang dari $-8,9$ hingga $10,2$.

Basis aturan dari *fuzzy* berupa *if-then* menggunakan metode implikasi *MIN*, setelahnya aturan *fuzzy* akan diintegrasikan menggunakan metode *MAX*. Tabel 2 menunjukkan matriks basis aturan yang dipakai pada penelitian ini.

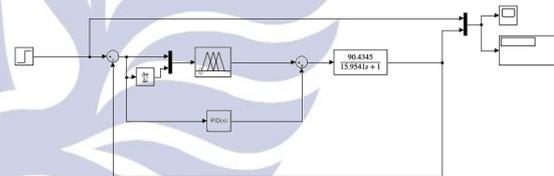
Keluaran pada sistem turret gun berupa nilai *pwm* yang berfungsi untuk memutar motor dc. Gambar 11 memperlihatkan fungsi keanggotaan output yang digunakan.



Gambar 11. Fungsi Keanggotaan Output

Pengujian Sistem dengan kendali Fuzzy-PD

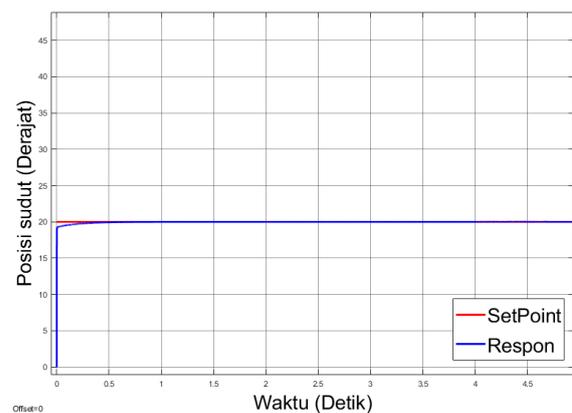
Pada bagian ini pengujian sistem *turret gun* dilakukan dengan beberapa tahapan, pertama menggunakan *setpoint* tetap, kemudian pengujian *setpoint* yang berubah, dan terakhir pengujian menggunakan gangguan. Pengujian ini bertujuan melihat respon sistem dan pengaruh dari kendali *fuzzy-PD* yang sudah dibuat. Gambar 12 merupakan diagram blok sistem dengan kendali *fuzzy-pd*.



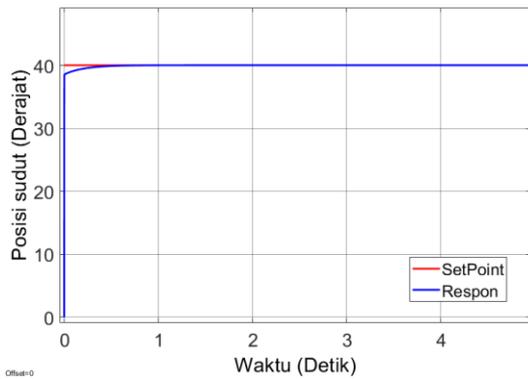
Gambar 12. Diagram Blok Kendali Fuzzy-PD

Pengujian Setpoint Tetap

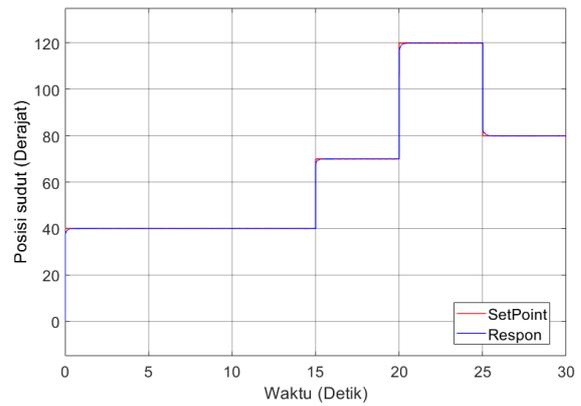
Respon dengan penambahan *fuzzy-PD* sebagai pengendali dengan *setpoint* tetap pada sudut 40° , 60° dan 20° ditampilkan pada Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



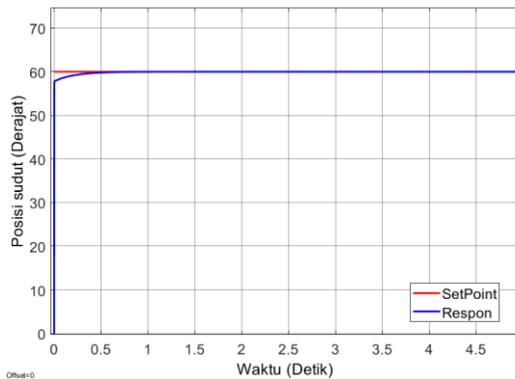
Gambar 13. Respon Sistem Setpoint 20



Gambar 14. Respon Sistem Setpoint 40



Gambar 16. Respon sistem Setpoint Berubah



Gambar 15. Respon Sistem Setpoint 60

Hasil dari simulasi sistem yang diperlihatkan pada Gambar 15, Gambar 16 serta Gambar 17 dengan menggunakan fuzzy-PD sebagai kendali memperlihatkan respon sistem sudah sesuai dengan setpoint. Respon sistem memperlihatkan lebih cepat mencapai setpoint dibanding sebelum ditambahkan kendali fuzzy-PD. Respon sistem mencapai setpoint yang telah diberikan dengan nilai error yang kecil. Parameter dari respon sistem dengan menggunakan setpoint tetap diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi Turret Gun

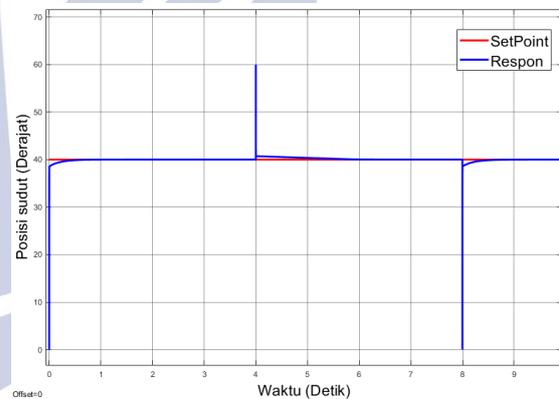
Setpoint	20°	40°	60°	Satuan
Rise time	0,0022	0,0021	0,0023	Detik
Setling time	0,13	0,13	0,14	Detik
Overshoot	0,7	0,002	0,1	%
Error steady state	0,05	0,02	0,03	%
Time peak	5,8648	4,0024	4,0284	Detik

Pengujian Setpoint Berubah

Pengujian dilakukan dengan cara merubah nilai setpoint yang diberikan dengan tujuan untuk melihat kestabilan respon sistem. Setpoint yang dimasukkan yakni 40 selanjutnya dirubah menjadi 70 dan dirubah lagi menjadi 120 dan terakhir dirubah menjadi 80. Gambar 16 memperlihatkan hasil dari simulasi pengujian setpoint berubah.

Pengujian Menggunakan Gangguan

Pengujian ini dilakukan dengan menambahkan dan mengurangi nilai respon sebesar 40 dan 20 step sebagai beban pada simulasi. Pengujian yang dilakukan pada setpoint 40. Hasil dari simulasi respon sistem dengan setpoint 40 diperlihatkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Respon Sistem dengan Gangguan

Ketika sistem diberi sinyal gangguan sebesar 20 step, respon yang dihasilkan dari sistem turun dari keadaan steady state untuk sesaat dan respon Kembali naik menuju keadaan steady state. Samahalnya Ketika sinyal gangguan ditambahkan sebesar 40 step, respon yang dihasilkan dari sistem naik untuk beberapa saat dari keadaan steady state dan Kembali turun menuju keadaan steady state.

PENUTUP

Simpulan

Pengujian pada sistem turret gun dengan menggunakan fuzzy-pd sebagai pengendali sudah dilakukan dan disimulasikan pada software matlab 2018a berhasil bekerja dengan baik. Fuzzy-pd yang dibuat menggunakan metode mamdani dengan 5 fungsi keanggotaan dengan 25 basis aturan mampu mendapatkan respon sesuai dengan setpoint yang diberikan dengan stabil serta mengurangi error steady state (Ess). Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan merujuk pada tabel 3, kendali fuzzy-pd pada sistem turret

gun dengan setpoint 40 menghasilkan respon sistem lebih baik dibanding dengan setpoint 20, di mana $rise\ time$ (t_r) = 0,0022 detik, $settling\ time$ (t_s) = 0,1323 detik, $overshoot$ = 0,0016%, $peak\ time$ (t_p) = 4,0024 dan (E_{ss}) = 0,025%.

Saran

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, sistem turret gun bisa dioptimalkan lagi dengan metode kendali lain seperti *Model Predictive Control (MPC)*, *Linier Quadratic Regulator control (LQR)* dan yang lain untuk memperoleh hasil respon sistem yang bisa lebih baik. Sistem turret gun juga bisa ditampilkan melalui *graphical user interface (GUI)* dengan menggunakan *software* lain seperti *LabView*, *visual studio*, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA.

Afifah, Nur. 2019. *Sistem Pengendalian Posisi Sumbu Azimuth pada Turret Gun Menggunakan Kendali PI Berbasis Arduino Mega 2560*. Jurnal Teknik Elektro vol 08, No 03. 2019.

Kasiram, Moh. 2008. *Metodologi Penelitian*. Malang: UIN Malang.

Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering* edisi kelima. New York: Prentice-Hall, Inc.

Prabowo, Randhy. 2018. *Perancangan Pengendalian Tingkat Keasaman Menggunakan Hybrid Fuzzy PID Dalam Sistem Hidroponik Untuk Pertumbuhan Tomat*. Fakultas Teknik Elektro Telkom University, 5 (1): 923-930.

Prayogo, Rheco. 2016. *Perancangan Sistem Kendali Gerak Lateral Way-To-Way Point UAV Quadcopter Menggunakan Kontroler Fuzzy PID*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS

Priambodo, Ardy. 2017. *Perancangan Sistem Kontrol PD untuk Stabilitas Terbang UAV Quadcopter*. Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada.

Purnama, Aditya. 2016. *Pengendalian Tegangan Output Generator DC Penguat Terpisah Menggunakan PID-Fuzzy Hybrid Control Berbasis Arduino Uno R3*. Digital Repository, Universitas Jember.

Supriyono, Muhammad Dedy. 2011. *Parameter Kontrol Pd Autotuning dengan Tsukamoto Fuzzy Menggunakan Bahasa C*. Seminar Nasional Penerapan Teknologi Informasi (SNATI) 2011

Sutikno, Indra Waspada 2015. *Perbandingan Metode Defuzzifikasi Sistem Kendali Logika Fuzzy Mamdani pada Motor Dc*. Jurnal Masyarakat Informatika, vol 2, No 3, ISSN 2086 – 4930.

Tamara, Muhammad Naszir., Pramujati, Bambang., Nurhadi, Hendro dan Pitowarno, Endra. 2018. *Simulasi dan Eksperimen Kontrol Senjata Turret Otomatis*. Jurnal ELTEK. vol 16, No. 1.

Radha. Krishna Yuva dan Kishore Biswal. 2012. *Kontrol Kecepatan Motor DC Excited Terpisah menggunakan Fuzzy Logic Controller*. Jurusan Teknik Elektro NIT Rourkela

Wisnu, Danu., Wahyudi, Arif dan Nurhadi, Hendro. 2016. *Merancang Sistem Kontrol PID untuk Mengontrol Sumbu Menara Azimuth pada Menara Kaliber 20mm*. Jurnal Teknik ITS vol 5, No 2. 2016.

