

PERANCANGAN SISTEM KENDALI HEXACOPTER MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL

Al Al¹⁾*, Arifwindi Saputra²⁾, Aswir Premadi³⁾, Asnal Effendi⁴⁾, Dasman Dasman⁵⁾

^{1),2),3),4),5)} Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik

^{1),2),3),4),5)} Fakultas Vokasi

^{1),2),3),4),5)} Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author E-mail: al.mtdrs@gmail.com

Abstract

The development of hexacopters has progressed significantly in both hardware and software, leading to increased complexity. Despite these advancements, several challenges remain. The nonlinear, multivariable, and dynamic nature of hexacopter systems often results in flight instability, suboptimal precision in movements, and reduced flight duration. To address these issues, this study proposes the implementation of a Fuzzy Logic Control (FLC) system to enhance the performance and stability of hexacopters during flight. The control system aims to minimize rise time, settling time, and overshoot. The research methodology involves developing a mathematical model of the open-loop system using the System Identification Toolbox in MATLAB, optimizing PID values through the PID Tuner, and designing the fuzzy control system based on error and delta error. The open-loop system demonstrates performance metrics of rise time (Tr) 4.60 s, delay time (Td) 2.76 s, peak time (Tp) 6.50 s, settling time (Ts) 5.91 s, and overshoot (Mp) 1.29%. With PID control, the performance improves to rise time (Tr) 3.24 s, delay time (Td) 1.85 s, peak time (Tp) 10.00 s, settling time (Ts) 9.55 s, and overshoot (Mp) 0%. Furthermore, the Fuzzy Logic Controller achieves superior results with rise time (Tr) 3.19 s, delay time (Td) 1.53 s, peak time (Tp) 4.64 s, settling time (Ts) 3.37 s, and overshoot (Mp) 0%.

Keywords: Hexacopter, PID, Fuzzy Logic Controller, Stability Control, Flight Performance, Control System Optimization.

Abstrak

Hexacopter telah mengalami pengembangan baik dari perangkat keras maupun perangkat lunak yang semakin kompleksitas. Meskipun dengan kemajuan yang sangat pesat tetapi menimbulkan sejumlah permasalahan pada Hexacopter. Dengan system Hexacopter yang nonlinear, multivariable dan dinamis menyebabkan ketidakstabilan pada saat terbang serta pergerakan presisi dan durasi terbang yang kurang optimal. Sehingga pada kesempatan kali ini penulis membuat sistem kendali Fuzzy Logic Control (FLC) untuk meningkatkan performance dan kestabilan Hexacopter pada saat terbang dengan memperhitungkan nilai rise time, settling time dan overshoot yang kecil. Metode penelitian ini meliputi pembuatan model matematika sistem Open Loop dengan menggunakan system identification toolbox pada software matlab, selanjutnya mengoptimalkan nilai PID, menggunakan PID tuner serta membuat perancangan sistem kendali fuzzy berdasarkan error dan delta error. Dimana menggunakan sistem Open Loop performance sistem yang dihasilkan rise time (Tr) 4,60s, delay time (Td) 2,76s, peak time (Tp) 6,50s, settling time (Ts) 5,91s, overshoot (Mp) 1,29%. Dengan kendali PID mendapatkan nilai rise time (Tr) 3,24s, delay time (Td) 1,85s, peak time (Tp) 10,00s, settling time (Ts) 9,55s, overshoot (Mp) 0%. Sedangkan dengan menggunakan sistem kendali Fuzzy Logic Controller mampu membuat sistem menjadi lebih baik dengan nilai performace system, rise time (Tr) 3,19s, delay time (Td) 1,53s, peak time (Tp) 4,64s, settling time (Ts) 3,37s, overshoot (Mp) 0%.

Kata Kunci: Hexacopter, PID, Fuzzy Logic Controller, Kontrol Stabilitas, Kinerja Terbang, Optimisasi Sistem Kendali.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi pesawat udara tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* telah mengalami kemajuan pesat baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. UAV, khususnya jenis multirotor seperti *hexacopter*, memiliki potensi aplikasi yang luas termasuk survei udara, fotografi, pengiriman barang, dan pemantauan pertanian [2] [3]. *Hexacopter*, yang dilengkapi enam motor penggerak, menawarkan keunggulan berupa daya tahan

terbang lebih lama dan kemampuan mengangkat beban lebih besar dibandingkan UAV multirotor lainnya [2] [3].

Namun, sistem *hexacopter* yang bersifat nonlinear, multivariable, dan dinamis sering kali menghadapi tantangan seperti ketidakstabilan terbang, kurang presisinya gerakan, dan durasi terbang yang tidak optimal [3] [4]. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan sistem kendali yang efisien, salah satunya melalui penerapan metode *Fuzzy Logic Control (FLC)*. Logika fuzzy Mamdani sering digunakan dalam desain ini karena kesederhanaannya dalam memprediksi parameter kendali [4] [5]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode kendali seperti **hybrid fuzzy-PID** dan logika fuzzy murni dapat secara signifikan meningkatkan kestabilan, kecepatan respons, dan ketepatan kontrol UAV [1] [6] [8]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa logika fuzzy dapat meminimalkan waktu stabilisasi (*settling time*) dan overshoot, yang sangat penting untuk kestabilan penerbangan [5] [7] [8]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem kendali FLC guna meningkatkan performa *hexacopter*, khususnya dalam meminimalkan *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* serta memastikan kestabilan gerak selama penerbangan.

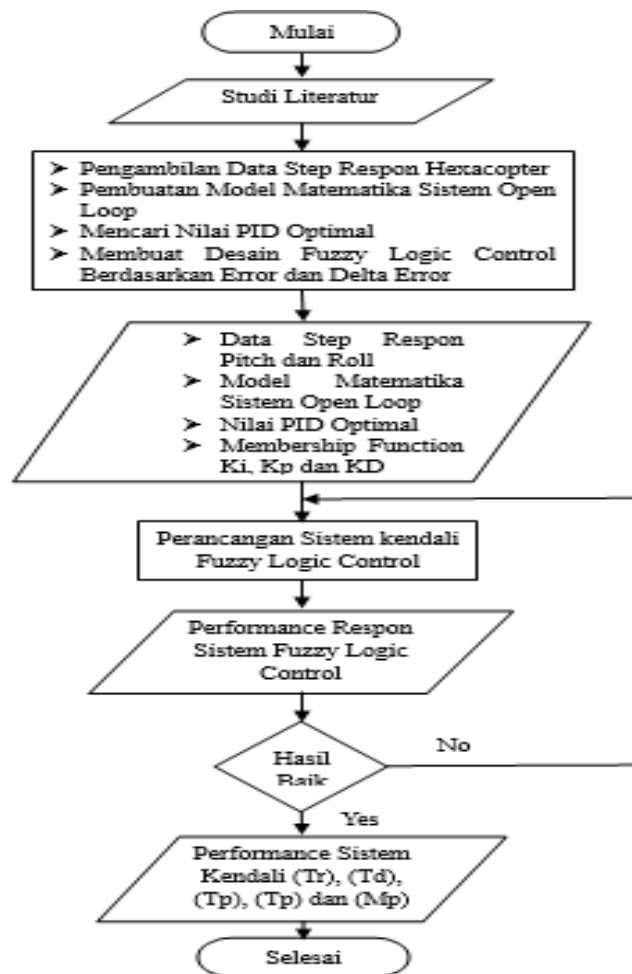
Untuk mengatasi tantangan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan *Fuzzy Logic Control (FLC)* berbasis metode Mamdani. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani sistem nonlinear dan multivariable secara efisien [4] [5]. Sistem kendali FLC dirancang untuk mengoptimalkan parameter seperti *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* dengan menerapkan aturan logika fuzzy pada variabel input, yaitu *error* dan *delta error*, yang kemudian menghasilkan variabel output berupa parameter pengendalian seperti Kp, Ki, dan Kd [5] [6].

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan keunggulan sistem kendali FLC. Sebagai contoh, Pambudi et al. (2020) menunjukkan bahwa penerapan logika fuzzy pada sistem kendali *drone quadcopter* mampu meningkatkan kestabilan dengan *rise time* sebesar 0,7 detik, *settling time* 2,55 detik, dan *overshoot* sebesar 15% [7]. Selain itu, penelitian Yanti & Rachman (2018) menyatakan bahwa *hybrid fuzzy-PID* menghasilkan kinerja kendali yang lebih optimal dengan *rise time* yang lebih cepat dan tingkat stabilisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem kendali PID konvensional [8].

Dalam penelitian ini, sistem kendali FLC yang dirancang diharapkan mampu menghasilkan peningkatan performa yang signifikan pada *hexacopter*. Tujuan akhirnya adalah mencapai kestabilan terbang yang lebih baik, pergerakan yang presisi, serta waktu respons yang lebih singkat bahkan dalam kondisi adanya gangguan eksternal [1] [6] [8].

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro Institut Teknologi Padang, selama 4 bulan yakni pada bulan September 2023 sampai Bulan Maret 2024. Pada diagram alir penelitian Gambar 1, ini menjelaskan tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian dimulai dari pengambilan data step respon Hexacopter menggunakan aplikasi mission planer untuk mendapatkan model matematika sistem *Open Loop* menggunakan sytem identification toolbox pada matlab. Selanjutnya mencari nilai PID optimal menggunakan PID tuner pada matlab. Lalu membuat desain *Fuzzy Logic Control* berdasarkan error dan delta error sampai mendapatkan membership function Ki, Kp dan Kd. Sehingga dapat membuat sistem kendali *Fuzzy Logic Control* dan melihat performance sistem menjadi lebih baik dengan mengukur *Rise Time* (Tr), *Delay Time* (Td), *Peak Time* (Tp), *Settling Time* (Ts), *Overshoot* (Mp), dan *Error Steady State* (Ess).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, simulasi dibuat menjadi beberapa bagian simulasi. Diantaranya mencari nilai *PID* yang optimal, mencari nilai transfer function sebagai input dalam blok diagram MRAC. Kecepatan motor pada sebuah hexacopter dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada desain dan komponen yang digunakan. Secara umum motor dapat dinyatakan dalam Revolutions Per Minute (Rpm). Kecepatan motor diukur menggunakan alat ukur tachometer. Data kecepatan masing-masing motor hexacopter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan Propeler Motor

No	Motor	Kecepatan
1	Motor 1	1716 Rpm
2	Motor 2	1096 Rpm
3	Motor 3	1871 Rpm
4	Motor 4	1551 Rpm
5	Motor 5	2196 Rpm
6	Motor 6	2634 Rpm

Sistem *Open Loop* merupakan sistem yang tidak memiliki umpan balik atau *feedback* untuk mengontrol ataupun mengatur kinerjanya. Pada sistem *Open Loop* nilai *PID* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai tersebut merupakan nilai *default* yang sudah ada di dalam *flight controller drone hexacopter* yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Nilai *PID Default*

No	Gerakan	Nilai P	Nilai I	Nilai D
1	Picth	1,615	0,99344	0,00300
2	Roll	1,615	0,99344	0,00300
3	Yaw	0,200	0,020	0,0000

Pada sistem *Open Loop* ini dilakukan dengan melihat langsung gerakan *drone hexacopter* yang telah terhubung ke *software* mission planner menggunakan kabel USB, dengan menggunakan percobaan respon *plant* dari input *step* pada rangkaian *open-loop* sehingga dapat menghasilkan grafik seperti Gambar 2.

**Gambar 2.** Grafik respon gerakan *pitch*

Dari Gambar 3. dapat dilihat grafik berwarna kuning merupakan grafik dari *set point* atau sudut yang ingin dicapai dari gerakan *pitch*, grafik ini diperoleh secara *Open Loop* dari gerakan *throttle remote control drone* dari sudut 0° hingga sudut maksimal *throttle*, sehingga sudut yang terbaca pada sumbu y di *software* Mission Planner adalah angka 35° . Sedangkan grafik berwarna kuning merupakan grafik pergerakan *drone* atau respon sistem *Open Loop* Ketika perintah diberikan yaitu menggerakkan *throttle* pada sudut *maximum*, sehingga respon sistem dapat dilihat pada sumbu x (waktu), di angka 686,2 *drone* baru merespon dan respon yang diberikan tidaklah tetap, pada angka 686,8 respon sudah bisa mencapai target namun mengalami *overshoot* sampai 15%, pada angka 687,4 respon sudah mulai menyesuaikan dengan target atau *set point* namun masih ada *osilasi* dan baru bisa menyesuaikan Kembali dengan target dan stabil di angka 689,2. Atau waktu yang dibutuhkan *drone* bisa stabil 5,84s. Dari gerakan *pitch* ini mempengaruhi gerakan *roll hexacopter* hingga dapat dilihat pada grafik warna biru dan hijau mengalami *osilasi* dan tidak stabil. Seharusnya dalam melakukan gerakan *pitch* gerakan lainnya yaitu *roll* dalam kondisi stabil atau tetap disudut 0° . Performa sistem gerakan *Pitch* secara *Open Loop* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Performance system *Open Loop Pitch*

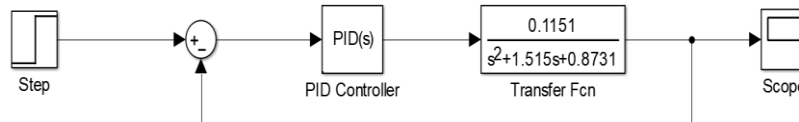
No	Step respon	Nilai
1	Rise Time (<i>Tr</i>)	2,13 s
2	Delay time (<i>Td</i>)	2,10 s
3	Peak time (<i>Tp</i>)	4,82 s
4	Setling Time (<i>Ts</i>)	11,4 s
5	Persen <i>Overshoot</i> (% <i>Mp</i>)	19,9%,

Dari Tabel 3 waktu naik yang memotong sumbu yang pertama dari hasil grafik sudah cukup bagus, namun waktu yang di butuhkan untuk sampai ke titik optimal cukup lama yaitu 2,13 s, dan mengalami *overshoot* yang tinggi yaitu 19,9% untuk itu perlu memperbaiki respon sistem dengan memperbaiki sistem kendali. Setelah mendapatkan grafik step respon gerakan *pitch* dan *roll* maka selanjutnya kita konversi grafik step respon menggunakan aplikasi plot digitizer untuk mendapatkan data X (waktu), dan Y (sudut) pada step respon pergerakan *hexacopter*. Data tersebut dimasukan kedalam file Microsoft exel agar dapat di inport ke matlab untuk dapat membuat model matematika sistem melalui system identification tollbox pada matlab. Setelah selesai mengkonversi grafik ke data exel maka langkah selanjutnya menginpor data exel gerakan *pitch* 35° , *pitch* -35° , *roll* 35° dan *roll* -35° ke MATLAB untuk dapat membuat model matematika sistem menggunakan system identification tollbox. Setelah dilakukan *estimate* maka terjadi proses identification untuk model

matematika sistem gerakan *pitch* berdasarkan data yang telah di inputkan. Sehingga kita berhasil mendapatkan model matematika *system* seperti persamaan (1),

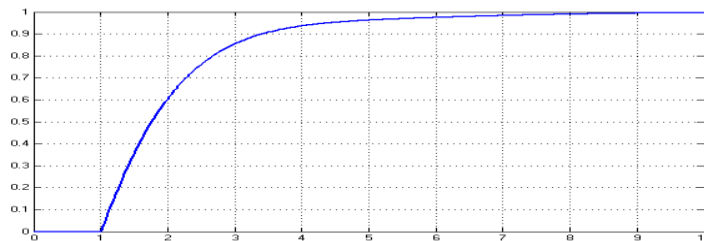
$$\frac{0.02147}{s^2 + 0.6691s + 0.3561} \quad (1)$$

Dalam mencari nilai *PID* optimal menggunakan *PID tuner* dengan membuat diagram blok pada simulink matlab untuk menginputkan nilai *PID* default dan model matematika sistem telah didapatkan sebelumnya.



Gambar 3. Diagram Blok *PID Tunner*

Pada Gambar. 3 adalah diagram blok sistem *closed loop* untuk *PID tuner* dengan memasukan konstanta *PID* default yaitu $P = 1.615$, $I = 0.99344$, $D = 0.00300$ serta nilai transfer fungsi yang telah didapatkan menggunakan *system identification toolbox* sehingga mendapatkan nilai *PID* yang optimal yang membuat *performance* sistem lebih baik.



Gambar 4. Grafik *Step Respon PID Optimal*

Pada Gambar 4 *step respon* yang dihasilkan dari *PID Tuner* dapat dilihat grafik *step respon* yang lebih baik dengan nilai $P = 12.8634$, $I = 6.0632$ dan $D = 7.1997$ dengan nilai *rise time* 3.54s, *delay time* 1.75s, *Peak time* 10.00s *settling time* 9.55s, *overshoot* 0%.

Pada perancangan sistem kendali *Fuzzy Logic Controller* mamdani terdapat beberapa tahapan. Tahapan pertama fuzzifikasi yaitu menentukan himpunan *fuzzy* baik variabel *input* maupun variabel *output*. Untuk variabel *input* yang kita gunakan untuk merancang fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* terdiri dari dua buah variabel *input* yaitu *error* dan *delta error* dengan rentang nilai min-max (-35 sampai 35) sedangkan variabel outputnya yaitu *error* yang semakin kecil dimana rentang nilai pada K_i , K_p dan K_D pada saat percobaan (0 sampai 1600). Mengevaluasi derajat keanggotaan setiap fungsi keanggotaan masukan ke dalam basis aturan yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini menggunakan rule 7x7, sehingga akan diperoleh 49 aturan pengendalian *fuzzy* seperti Tabel 4.

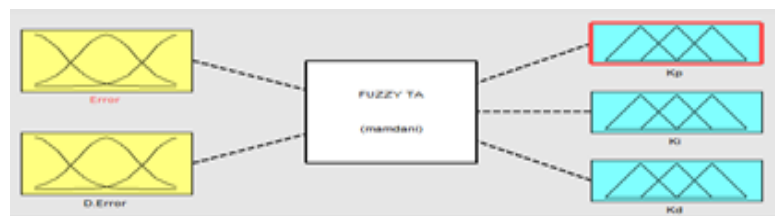
Tabel 4. Kenggotaan *Fuzzy*

Error\ Delta error	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	M	S	VS	VVS	VS	S	M
NM	B	M	S	VS	S	M	B
NS	VB	B	M	S	M	B	VB
Z	VVB	VB	B	M	B	VB	VVB
PS	VB	B	M	S	M	B	VB
PM	B	M	S	VS	S	M	B
PB	M	S	VS	VVS	VS	S	M

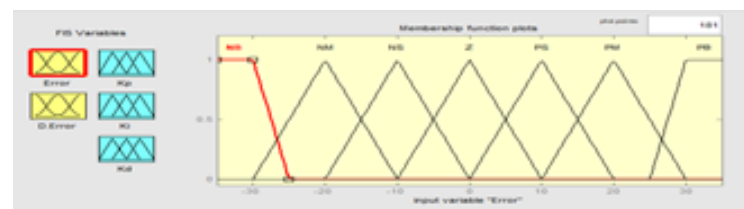
Setelah menentukan keanggotaan *fuzzy* maka dapat buat desain *Fuzzy Logic Control* berdasarkan fungsi keanggotaan serta membuat rule inferensi *fuzzy* sesuai Tabel 5 yang telah ditentukan pada *fuzzy logic desainer* di MATLAB.

Tabel 5. Kode Tabel dan Range Keanggotaan Fuzzy

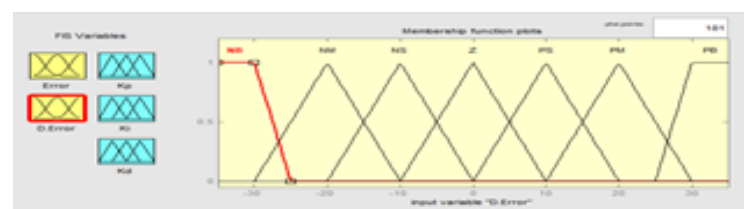
No	Kode	Range	Keterangan
1	NB	-35 Sampai -25	Negative Big
2	NM	-30 Sampai -10	Negative Middle
3	NS	-20 Sampai 0	Negative Small
4	Z	-10 Sampai 10	Zero
5	PS	0 Sampai 20	Positive Small
6	PM	10 Sampai 30	Positive Middle
7	PB	25 Sampai 35	Positive Big
8	VVS	0 Sampai 265	Very Very Small
9	VS	0 Sampai 530	Very Small
10	S	265 Sampai 800	Small
11	M	530 Sampai 1065	Middle
12	B	800 Sampai 1330	Big
13	VB	1065 Sampai 1600	Very Big
14	VVB	1330 Sampai 1600	Very Very Big

**Gambar 5.** Desain Fuzzy Logic Control

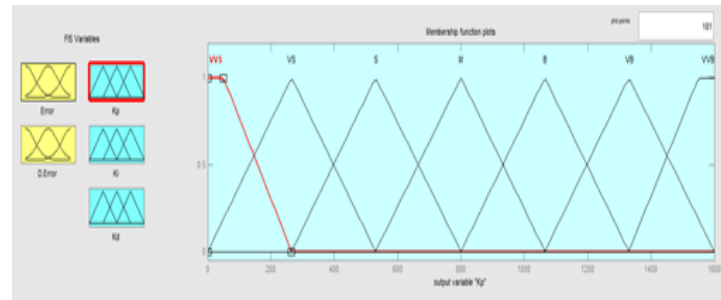
Fungsi keanggotaan defuzzyfikasi nilai Min pada error dan delta error adalah -35 dan nilai Max pada error adalah 35. Nilai Min-Max yang didapatkan defuzzyfikasi ini yang selanjutnya diproses untuk di inputkan kedalam FLC (Fuzzy Logic Controller) Matlab.

**Gambar 6.** Membership Function Error

Variabel *input error* terdapat tujuh fungsi kanggotaan yaitu NB (-35 Sampai -25), NM (-30 Sampai -10), NS (-20 Sampai 0), Z (-10 Sampai 10), (PS 0 Sampai 20), PM (10 Sampai 30), dan PB (25 Sampai 35) nilai range pada kenggotaan ini yang di inputkan ke dalam masing- masing keanggotaan variabel *input error*.

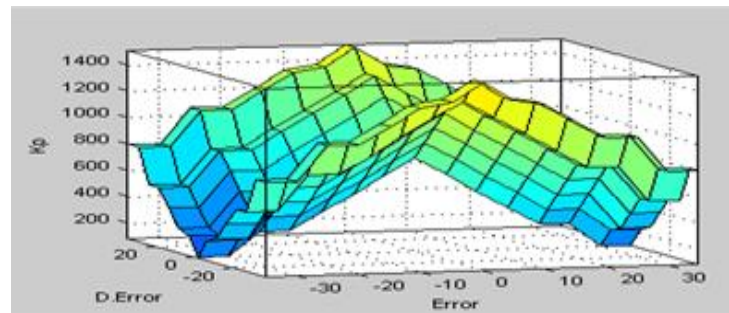
**Gambar 7.** Membership Function Delta Error

Variabel *input delta error* terdapat tujuh fungsi kanggotaan yaitu NB (-35 Sampai -25), NM (-30 Sampai -10), NS (-20 Sampai 0), Z (-10 Sampai 10), (PS 0 Sampai 20), PM (10 Sampai 30), dan PB (25 Sampai 35) nilai range pada masing kenggotaan ini yang di inputkan ke dalam masing- masing keanggotaan variabel *input delta error*.



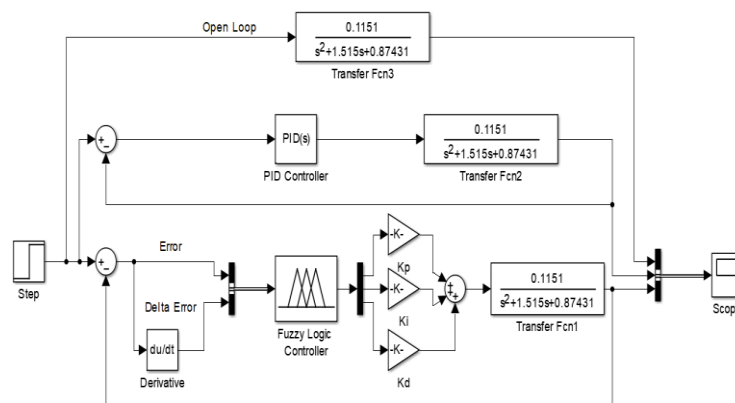
Gambar 8. Membership Function Kp, Ki dan Kd

Fungsi keanggotaan defuzzyfikasi dilihat pada Gambar 8 nilai Min pada Ki, Kp dan Kd adalah 0 dan nilai Max adalah 1600. Nilai Min-Max yang didapatkan defuzzyfikasi ini yang selanjutnya diproses untuk diinputkan kedalam *Fuzzy Logic Controller* matlab berdasarkan nilai range yang telah ditentukan pada masing – masing keanggotaan VVS (0 sampai 265), VS (0 sampai 530), S (265 sampai 800), M (530 sampai 1065), B (800 sampai 1330), VB (1065 sampai 1600), dan VVB (1330 Sampai 1600). Sedangkan *rule inferensi fuzzy* yang telah dibuat maka akan menghasilkan tampilan 3D seperti Gambar 9 sesuai fungsi keanggotaan variabel *input* (error/delta error) dan *output* (ki, kp dan kd).

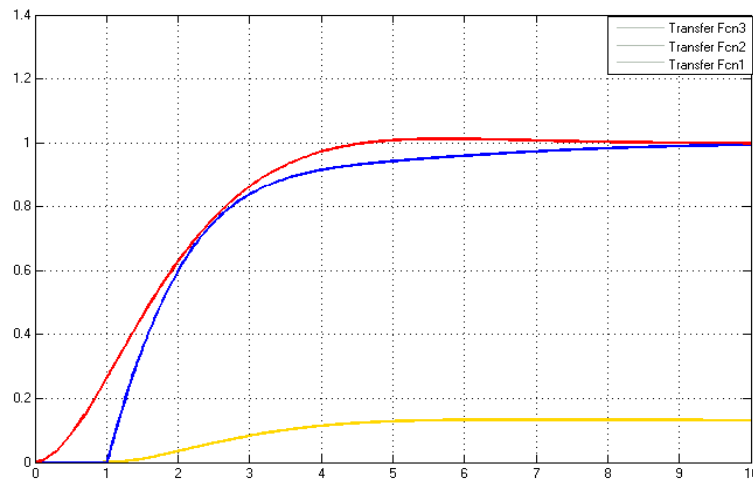


Gambar 9. View Surface

Selanjutnya *Fuzzy Logic Controller* yang telah kita desain kita maka kita dapat simulasikan sistem kendali *Fuzzy Logic Controller*, sistem kendali *PID* dan *Open Loop* pada simulink matlab.



Gambar 10. Simulasi Sistem Kendali



Gambar 11. Grafik Open Loop, PID dan Fuzzy Logic Control

Dapat dilihat pada grafik yang dihasilkan dimana pada grafik yang berwarna kuning adalah sistem *Open Loop*, grafik yang berwarna biru sistem kendali *PID* dan yang berwarna merah grafik sistem kendali dengan *Fuzzy Logic Controller* terdapat perbedaan step respon yang dihasilkan dimana sistem *Open Loop* tidak mampu mencapai *setpoint*, selanjutnya pada sistem kendali *PID* sudah mampu mencapai *setpoint* namun membutuhkan waktu yang cukup lama sedangkan dengan *Fuzzy Logic Controller* telah berhasil membuat sistem kendali menjadi lebih baik dan mencapai *setpoint* lebih cepat dengan mengukur performance sistem *Open Loop*, *PID* dan setelah menggunakan sistem kendali *Fuzzy Logic Controller*.

Tabel 6. Perbandingan Performansi Sistem Kendali *Open Loop*, *PID* dan *Fuzzy Logic Control*

No	Step Respon	Open Loop	PID	Fuzzy Logic Control
1	Rise Time (Tr)	4,60s	3,24s	3.19s
2	Delay Time (Td)	2.76s	1,85s	1.53s
3	Peak Time (Tp)	6,50s	10,00s	4.64s
4	Settling Time (Ts)	5,91s	9,55s	4.37s
5	Overshoot (Mp)	1,29%	0%	0%
6	Error Steady State (Ess)	84%	0%	0%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa telah berhasil membuat sistem kendali *Fuzzy Logic Controller* dengan metode *mamdani* dimana dengan menggunakan sistem kendali *Fuzzy Logic Controller* metode *mamdani* dapat mencapai *setpoint* lebih cepat dan meningkatkan *performace system* yang di hasilkan dibandingkan dengan menggunakan sistem *Open Loop* maupun kendali *PID* dengan mengukur *performance system*. Dimana menggunakan sistem *Open Loop performance system* yang dihasilkan *rise time* (Tr) 4,60s, *delay time* (Td) 2,76s, *peak time* (Tp) 6,50s, *settling time* (Ts) 5,91s, *overshoot* (Mp) 1,29%, namun belum mampu mencapai *setpoint*. Dengan kendali *PID* mendapatkan nilai *rise time* (Tr) 3,24s, *delay time* (Td) 1,85s, *peak time* (Tp) 10.00s, *settling time* (Ts) 9,55s, *overshoot* (Mp) 0%, sudah mampu mencapai *setpoint*. Sedangkan dengan menggunakan sistem kendali *Fuzzy Logic Controller* berhasil membuat sistem menjadi lebih baik karena dapat mencapai *setpoint* lebih cepat serta kestabilan dengan mengukur nilai *Performace System*, *Rise Time* (Tr) 3,19s, *Delay Time* (Td) 1,53s, *Peak Time* (Tp) 4,64s, *Settling Time* (Ts) 3,37s, *Overshoot* (Mp) 0%.

UNKNOWNLEDMAN

Penelitian ini disponsori oleh Program Matching Found 2023, DIRJEN Vokasi Kemendikbud RI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Faizal, A., Ismaredah, E., Ridho, I. F., Elektro, T., Sains, F., & Riau, U. I. N. S. (2018). *Perancangan Pengendalian Hover Quadcopter Menggunakan Pengendali Hybrid Fuzzy Dan Proportional Integral Derivative (PID) sering logika fuzzy dalam penelitian ini untuk*. 5(2).
- [2] Maulana Ichsan, I., & Rizianiza, I. (2021). Perbandingan Uji Kestabilan Attitude Hexacopter Pada Metode Root Locus dan Routh Hurwitz. *Jurnal METTEK*, 7(2), 57. <https://doi.org/10.24843/mettek.2021.v07.i02.p01>.
- [3] Perdana, A. R., & Rizianiza, I. (2021). Perancangan Sistem Pengendalian Menggunakan Kontroler PID pada Gerakan Pitch dan Roll untuk Stabilitas Attitude Hexacopter. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 386–398. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i2.5172>
- [4] Yulianta, A. D., Hadi, S. P., & Suharyanto. (2017). Pengendalian Kecepatan Motor Brushless dc Menggunakan Metode Logika Fuzzy. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 8(1), 1–9.
- [5] Pulungan, A. B., Purwanto, W., Yelfianhar, I., Elektro, T., Padang, U. N., Elektro, T., Padang, U. N., Otomotif, J. T., Padang, U. N., Elektro, J. T., & Padang, U. N. (2020). *Simulasi Pengendalian Kecepatan Motor DC Brushless dengan Fuzzy Metode Logika*. 5(2), 139–145. <https://doi.org/10.31572/inotera.Vol5.Iss2.2020.ID125>
- [6] Afrisal, H., Nugroho, W. D., Afrisal, H., & Nugroho, W. D. (2020). *Sistem kendali kestabilan attitude quadrotor dengan metode self-tuning Fuzzy - PD Attitude stabilization control for quadrotor using self-tuning fuzzy-PD*. 8(April), 164–170. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.2.2020.164-170>
- [7] Pambudi, W., Darmawan, Y., & Choirina, P. (2020). *Rancang Bangun Penstabil Drone S2GA Berbasis Metode Fuzzy Logic Menggunakan Arduino Design of S2GA Drone Stabilizer Base on Fuzzy Logic Methods Using Arduino*. 6(2), 104–112.
- [8] Yanti, N., & Rachman, F. Z. (2018). *PENGENDALIAN KESTABILAN TERBANG ROBOT PENJELAJAH UDARA DENGAN METODE HYBRID PID-FUZZY STABILITY CONTROL FLYING THE AIR CONDITIONING ROBOT WITH HYBRID PID-FUZZY METHOD*. 5(6), 705–710. <https://doi.org/10.25126/jtiik51134>
- [9] Artale, V., Milazzo, C. L. R., & Ricciardello, A. (2013). Mathematical modeling of hexacopter. *Applied Mathematical Sciences*, 7(97–100), 4805–4811. <https://doi.org/10.12988/ams.2013.37385>