

DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT AERO PENDULUM BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER DENGAN SOFTWARE LABVIEW

Fandik Agung Kurniawan

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia.
e-mail: fandikkurniawan16050874023@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail: endryansyah@unesa.ac.id

Abstrak

Aero pendulum dapat diartikan sebagai pendulum yang dilengkapi dengan baling baling di salah satu ujungnya, dan ujung lainnya berada pada satu titik tetap. Permasalahan pada aero pendulum yaitu sistem tidak dapat mempertahankan posisi secara stabil saat beban tidak seimbang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengontrol sistem aero pendulum menggunakan pengendali logika fuzzy dan respon yang dihasilkan ditampilkan melalui GUI (Graphical User Interface) LabVIEW 2014. Pengendali logika fuzzy yang dibuat memiliki 5 fungsi keanggotaan dengan 25 rule base berhasil menghasilkan respon sesuai setpoint yang telah ditentukan dan mengurangi ESS (error steady state). Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon sistem aero pendulum menggunakan kontroler logika fuzzy mampu mencapai setpoint yang diinginkan dengan peak time (tp) sebesar 0,71 detik, delay time (td) sebesar 0,32 detik, rise time (tr = 10-90%) sebesar 0,46 detik, settling time (ts = 5%) sebesar 0,6 detik, dan nilai error steady state sebesar 0,001%.

Kata Kunci: Fuzzy Logic Controller, Aero Pendulum, Labview.

Abstract

Aero Pendulum can be interpreted as a pendulum that is equipped with a propeller at one end, and the other end is at one fixed point. The problem with the Aero Pendulum is that the system cannot maintain a stable position when the load is unbalanced. This research aims to design and control the aero pendulum system using a fuzzy logic controller and the resulting response is displayed through LabVIEW 2014 Graphical User Interface (GUI). The fuzzy logic controller that has 5 membership functions with 25 rule bases successfully produces responses according to a predetermined setpoint and reduce ESS (error steady state). The results showed that the response of the aero pendulum system using a fuzzy logic controller was able to reach the desired setpoint with peak time (tp) of 0.71 seconds, delay time (td) of 0.32 seconds, rise time (tr = 10-90%) of 0.46 seconds, settling time (ts = 5%) of 0.6 seconds, and a steady state error value of 0.001%.

Keywords: Fuzzy Logic Controller, Aero Pendulum, Labview.

PENDAHULUAN

Penelitian mengenai *autonomous* sedang berkembang pesat, bahkan hingga saat ini telah ditemukan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). UAV digunakan dalam berbagai bidang, mulai dari kebutuhan militer, pengecekan lokasi yang sulit dijangkau (lembah, lokasi bencana alam, pemantauan hutan, dll.) hingga digunakan dalam proses produksi film (Bouadi,2007). UAV dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai parameter seperti jenis mesin, ketinggian maksimum yang dapat dicapai dan ketahanannya. Penggunaan UAV dalam kebutuhan sipil umumnya menggunakan tipe *singlerotor/multirotor* dan tipe sayap tetap karena dinilai mudah dalam pembuatannya

(Hadi,dkk.,2014). Salah satu pengujian *singlerotor* yaitu pada *Aero Pendulum*.

Aero pendulum dapat diartikan sebagai pendulum yang dilengkapi dengan baling baling di salah satu ujungnya, dan ujung lainnya berada pada satu titik tetap (Habib dkk., 2017). Baling baling tersebut digerakkan oleh motor *brushless* DC dimana baling – baling tersebut menghasilkan gaya dorong untuk menyesuaikan posisi pendulum sesuai tegangan yang diberikan. Baling baling akan berputar disekitar sumbu yang sejajar dengan sumbu pendulum rotasi (Job dan Hency, 2015).

Permasalahan pada *singlerotor* ataupun *multirotor* yaitu pada stabilitas terbangnya. Motor tidak dapat mempertahankan posisi secara stabil diudara saat beban

tidak seimbang (SA, Inkyu, 2011). Penggunaan kontroler dibutuhkan pada *aero pendulum* karena memungkinkan untuk mengendalikan respon sistem dengan menyesuaikan tegangan yang diberikan, waktu naik, overshoot, dll. (Amin M. dan Mahdi Y., 2011). Penggunaan kontroler ditujukan untuk stabilitas posisi sudut pada *aero pendulum* sesuai *setpoint* yang diinginkan.

Pada tahun 2019, Aris Dwi Romadhon melakukan penelitian yang berjudul "Desain Sistem Pengaturan Posisi Sudut Aero Pendulum Menggunakan Pengendali Pid Berbasis Labview". Dalam penelitian tersebut menawarkan PID sebagai kontroler pada *aero pendulum*. Dari hasil simulasi dan percobaan pada *plant aero pendulum* menunjukkan kontroler PID dapat melakukan *self stabilizing* dengan nilai eror terkecil sebesar 0,069%.

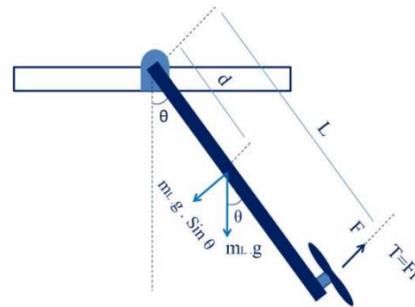
Pada tahun 2016, T. Hosseializade, dkk. Melakukan penelitian mendesain dan mengimplementasikan tiga controller yang berbeda dengan judul "Design And Implementation Classical, State Feedback and Fuzzy Controllers on twin Rotor System". Pada penelitian ini penulis mengendalikan sudut pitch pada *twin rotor* menggunakan pengendali PID, *State Feedback* dan Fuzzy. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa respon sistem dengan pengendali PID memiliki nilai *overshoot* dan *settling time* yang cukup tinggi. Untuk pengendali *State feedback* hasil respon dominan baik dibandingkan dengan pengendali PID dan Fuzzy. Sedangkan untuk pengendali Fuzzy memiliki respon yang lama untuk mencapai *setpoint* akan tetapi memiliki nilai eror yang kecil.

Tujuan pada penelitian ini adalah merancang dan mengontrol sistem *aero pendulum* menggunakan pengendali logika fuzzy serta respon yang dihasilkan akan ditampilkan pada GUI (*Graphical User Interface*) LabView 20014. Berdasarkan hasil studi literatur, judul yang diambil dalam penelitian ini adalah "Desain Sistem Pengaturan Posisi Sudut Aero Pendulum Berbasis Fuzzy Logic Controller dengan Software LabVIEW". Perancangan sistem kendali pada penelitian ini diharapkan memiliki hasil yang lebih baik dari sistem kendali pada penelitian sebelumnya.

KAJIAN PUSTAKA

Aero Pendulum

Gambar skematik dari *Aero pendulum* ditunjukkan pada Gambar 1 Pendulum ini digerakkan oleh sebuah motor yang memiliki baling baling di ujung tongkat seperti pada Gambar.



Gambar 1 Diagram sistematis Aero Pendulum (Sumber : Mohammadbagheri dan Yaghoobi, 2010)

Baling baling akan berputar dan menghasilkan torsi T untuk mengangkat pendulum setelah tegangan diberikan, dengan begitu pendulum dapat dikendalikan menuju sudut yang telah ditentukan. Hal tersebut merupakan keunggulan dari sebuah pendulum yang memungkinkan kita mengendalikan perilakunya dengan menyesuaikan tegangan yang diberikan. Sudut pendulum pada sistem ini merupakan variabel yang dikontrol dan variabel yang dimanipulasi adalah tegangan yang diberikan kepada baling – baling bermotor (Mohammadbagheri dan Yaghoobi, 2010).

Persamaan pendulum yang digerakkan menurut hukum Newton dan momentum sudut dapat diturunkan menjadi:

$$J \cdot \ddot{\theta} + c \cdot \dot{\theta} + m \cdot g \cdot d \cdot \theta = T \tag{1}$$

Dari persamaan 1, maka akan di *Laplace* menggunakan domain s menjadi:

$$J \cdot s^2 \theta(s) + c \cdot s \theta(s) + m_L \cdot g \cdot d \theta(s) = T(s) \tag{2}$$

Maka didapatkan fungsi alihnya:

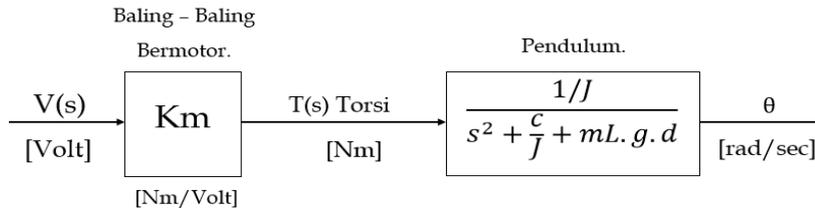
$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{J \cdot s^2 + c \cdot s + m_L \cdot g \cdot d} \tag{3}$$

Penyederhanaan dari persamaan 3 menjadi:

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1/J}{s^2 + \frac{c}{J} \cdot s + \frac{m_L \cdot g \cdot d}{J}} \tag{4}$$

Sistem kontrol pada pendulum disesuaikan dengan tegangan yang diberikan, sehingga persamaan gaya dorong yang didapatkan diatas masih belum dikatakan variabel yang dimanipulasi. Persamaan tegangan yang diberikan pada motor *brushless DC* dan daya dorong T dapat ditulis sebagai berikut:

$$T(s) = K_m \cdot V(s) \tag{5}$$



Gambar 2 Blok diagram *open loop* dari sistem *aero pendulum* (Sumber : Job dan Hancy, 2015)

Gambar 2 menunjukkan diagram blok dari sistem *aero pendulum*, fungsi transfer *aero pendulum* dapat dituliskan

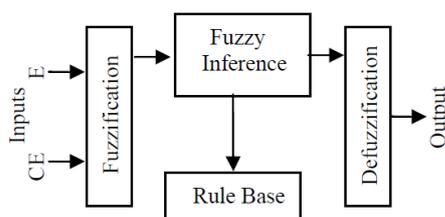
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m/J}{s^2 + \frac{c}{J}s + \frac{mL.g.d}{J}} \quad (6)$$

Keterangan

- T(s) = Gaya dorong yang disediakan oleh motor *brushless* DC (Nm/kg) dalam domain waktu.
- V(s) = Tegangan yang diterapkan pada motor *brushless* DC (Volt) dalam domain waktu
- θ = Sudut (derajat)
- $\theta(s)$ = Sudut dalam *Laplace*
- $\dot{\theta}$ = Kecepatan sudut (rad/s)
- $\ddot{\theta}$ = Percepatan sudut (rad/s²)
- Km = Koefisien *motor propeller*
- m = Berat bandul (kg)
- L = Panjang lengan
- d = Jarak ujung lengan ke titik tumpu (m)
- J = Momen inersia (kg.m²)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- c = Koefisien redaman kental (kg.m²/s)

Pengendali Fuzzy

Pada tahun 1965, himpunan *fuzzy (fuzzy set)* ditemukan oleh L.A Zadeh dan jika diartikan kedalam bahasa Indonesia *fuzzy* berarti buram/ tidak jelas. Himpunan *fuzzy* merupakan cabang dari ilmu matematika tertua dimana mempelajari proses bilangan random: teori probabilitas, teori informasi, statistik matematik, dan lainnya (Sudradjat, 2008). Sistem kontrol logika *fuzzy* biasanya terdiri dari empat bagian utama yaitu *fuzzification*, *fuzzy inference*, *rule base*, dan *defuzzification* (Iancu, 2012) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur *Fuzzy Logic Controller* (Sumber: Shanmugasundram, dkk., 2009)

1. Fuzzification (Fuzifikasi)

Proses merubah nilai variabel yang berupa angka kedalam nilai variabel linguistik disebut sebagai fuzifikasi (Wati, 2011).

2. Rule Base (Basis Aturan)

Basis aturan *fuzzy* merupakan kumpulan aturan “*if then*” di mana anteseden dan konsekuennya berupa variabel linguistik. Pada bagian “*if*” disebut kondisi dan di bagian “*then*” disebut konklusi (Wati, 2011).

3. Fuzzy Inference

Inference engine merupakan inti dari pemodelan cara berpikir manusia dalam konsep pengendali *fuzzy*.

4. Defuzzification

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik *non fuzzy* melalui proses *defuzzification* (Abdullah, 2012).

METODE

Pendekatan Penelitian

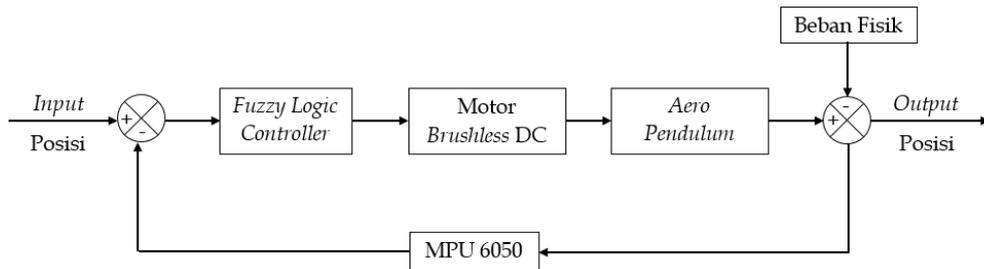
Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, di mana proses menemukan pengetahuan menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui (Kasiram, 2008).

Software yang digunakan pada penelitian ini adalah software LabVIEW untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem, mendesain kontroler logika *fuzzy*, menampilkan respon sistem *Aero Pendulum*, serta membandingkan hasil respon sistem dengan kontroler dan tanpa kontroler.

Desain Sistem

Desain diagram blok dari *Aero Pendulum* menggunakan *fuzzy logic controller* ditunjukkan pada Gambar 4.

Nilai masukan (*setpoint*) yang digunakan pada sistem *aero pendulum* berupa posisi sudut, sedangkan pengendali yang digunakan adalah pengendali logika



Gambar 4 Diagram Blok Sistem
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

fuzzy dengan metode Mamdani. Pada arduino kontroler akan diproses untuk membantu sistem *aero pendulum* mencapai *setpoint* yang diinginkan. Arduino akan memberikan sinyal keluaran berupa sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) pada ESC (*Electrical Speed Control*) untuk mengatur kecepatan *motor brushless DC*. Untuk membaca nilai sudut kemiringan pada plant digunakan sensor MPU 6050. Hasil pembacaan sensor juga dijadikan sebagai sinyal umpan balik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi sistem *aero pendulum* akan ditampilkan pada bagian ini beserta hasil pengujian pada software LabView 2014. Spesifikasi dari hardware *aero pendulum* didapat dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Aris Dwi Romadhon.

Permodelan Sistem Aero Pendulum

Untuk mendapatkan permodelan dari sistem, yang harus diketahui terlebih dahulu yaitu spesifikasi hardware yang digunakan untuk dimasukkan kedalam fungsi alih yang telah didapatkan pada Persamaan 2.

Tabel 1. Spesifikasi Aero Pendulum

No.	Nama Alat	Simbol	Nilai	Satuan
1	Panjang lengan	L	0,4	m
2	Panjang pusat massa	d	0,2	m
3	Massa	m	0,32	Kg
4	Momen Inersia	J	0,0512	Kg.m ²
5	Percepatan gravitasi	g	9,8	m/s ²
6	Koefisien redaman	c	0,0001	Kg.m ² /s

Fungsi alih permodelan sistem didapatkan dengan cara memasukkan spesifikasi *hardware aero pendulum* pada tabel 1 ke dalam persamaan 6. Fungsi alih permodelan sistem dapat ditulis sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{13,6719}{s^2 + 0,00195s + 12,25} \quad (7)$$

Keterangan:

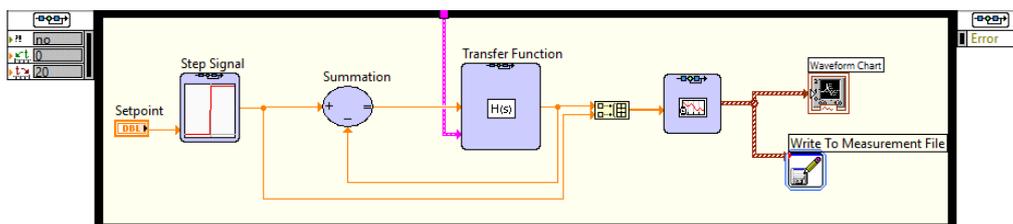
G(s) = Fungsi alih permodelan sistem.

Blok Diagram LabVIEW Untuk Simulasi Sistem

Vi – Diagram atau *Virtual Instruments Diagram* merupakan sebutan untuk program pada LabVIEW karena bahasa pemrograman pada LabVIEW berbasis grafis atau blok diagram yang dapat meniru sebuah *instrument*. Pada penelitian ini juga menggunakan Vi – Diagram untuk mengatur posisi sudut *aero pendulum* agar sistem dapat mengikuti *setpoint* yang telah diberikan.

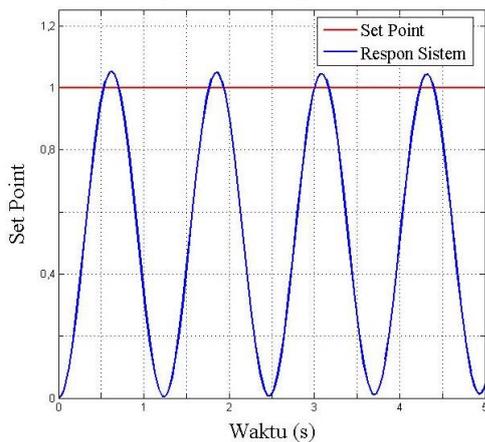
Pada blok diagram sistem pada Gambar 5, blok yang digunakan untuk merubah nilai *setpoint* menggunakan blok *step signal*. Untuk mempermudah merubah nilai *setpoint* maka digunakan *knop* yang dihubungkan pada *step signal*. Blok *transfer function* digunakan untuk memasukkan nilai *transfer function* atau fungsi alih dari sistem *aero pendulum*. Hasil dari simulasi akan berbentuk grafik yang ditampilkan pada *waveform chart*.

Selain ditampilkan dalam bentuk grafik pada blok *waveform chart*, respon hasil simulai juga akan disimpan dalam bentuk file pada blok *write to measurement file*. Data yang akan disimpan memuat respon sistem, *setpoint*



Gambar 5. Diagram Vi Loop Tertutup Tanpa Kontroler
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

dan waktu dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Fungsi alih yang telah didapatkan akan disimulasikan pada software LabVIEW, dan respon sistem tanpa kontroler ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Simulasi Respon Sistem Tanpa Kontroler (Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

Respon sistem aero pendulum yang ditunjukkan pada Gambar 6 tidak dapat mencapai setpoint yang telah ditentukan. Respon sistem aero pendulum tidak dapat mempertahankan posisinya dengan stabil (berosilasi), maka diperlukan sebuah kontroler agar sistem aero pendulum dapat mencapai *setpoint* dan respon sistem stabil (tidak berosilasi).

Perancangan Pengendali Logika Fuzzy

Pengalaman dan pengetahuan peneliti terhadap sistem diperlukan untuk perancangan logika *fuzzy*. Hal – hal yang dibutuhkan dalam merancang pengendali logika fuzzy yaitu masukan sistem dan keluaran sistem. Masukan pada pengendali logika fuzzy yang akan dibuat memiliki 2 masukan, yaitu masukan error dan delta error yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

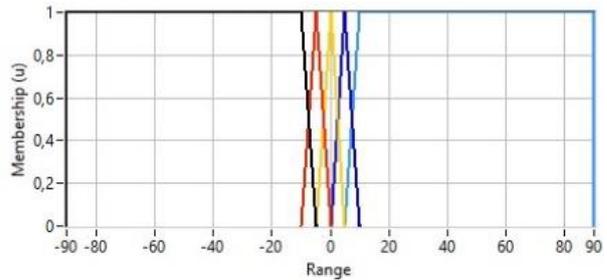
$$E(k) = SP(k) - Y(k) \tag{8}$$

$$de(k) = e(k) - e(k - 1) \tag{9}$$

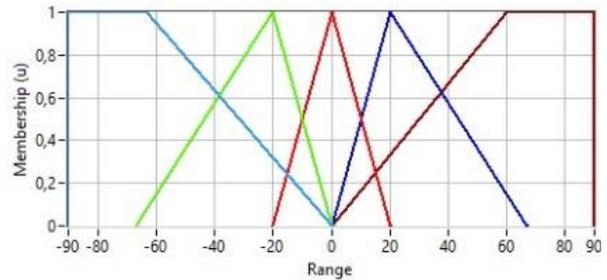
Keterangan:

- e = error
- SP = setpoint
- k = domain waktu
- de = delta error
- Y = nilai variabel keluaran

Berbeda dengan jumlah masukan pengendali logika fuzzy, untuk variabel keluaran menggunakan satu variabel yaitu berupa variabel pwm. Dari variabel masukan dan variabel keluaran memiliki 5 domain yaitu nl (*negative long*), ns (*negative small*), z(*zero*), ps(*positive small*), pl(*positive long*). Derajat keanggotaan dari kedua masukan menggunakan representasi kurva segitiga dan trapesium yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Masukan Error (Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)



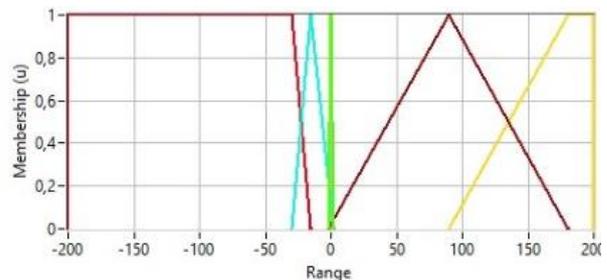
Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Masukan Delta Error (Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

Basis aturan *IF – THEN* atau rule base menggunakan metode implikasi *MIN*, setelah itu aaturan fuzzy diagregasikan menggunakan metode *MAX*. Matrik *rule base* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.

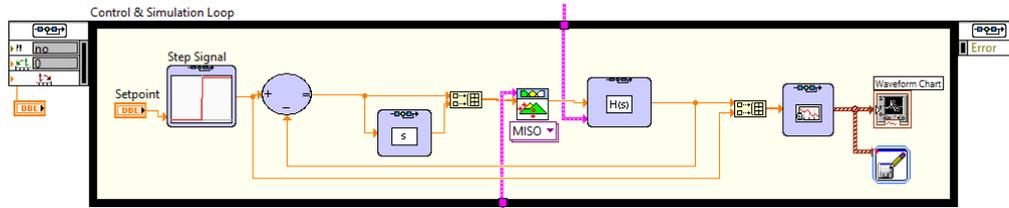
Tabel 2. Matrik Rule Base

e/de	nl	ns	z	ps	pl
nl	nl	nl	ns	z	z
ns	nl	ns	ns	z	ps
z	ns	ns	z	ps	pl
ps	z	z	ps	pl	pl
pl	z	ps	pl	pl	pl

Keluaran pada sistem aero pendulum berupa nilai pwm dengan nilai semesta pembicaran memiliki rentang -200 sampai 200 yang digunakan untuk memutar motor *brushless* DC. Fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Keluaran (Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)



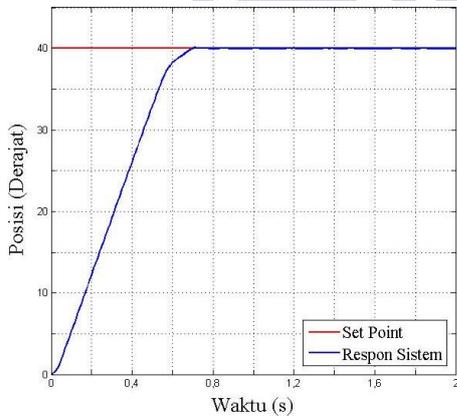
Gambar 10. Diagram Vi Loop Tertutup dengan Kontroler Fuzzy
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

Pengujian Respon Sistem dengan Kontroler Fuzzy

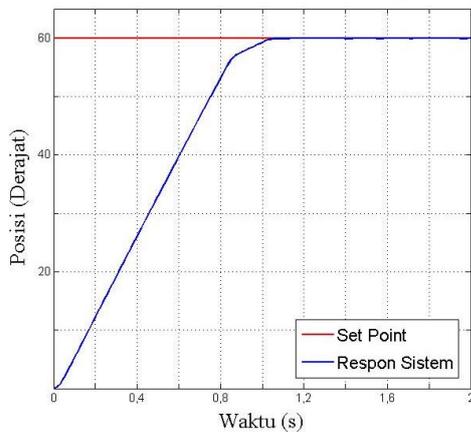
Sistem *aero pendulum* akan dilakukan pengujian menggunakan beberapa cara yaitu menggunakan setpoint tetap, pengujian dengan setpoint yang dirubah, dan pengujian dengan menggunakan beban. Tujuan pengujian ini untuk melihat pengaruh dari pengendali logika fuzzy yang telah dibuat. Berikut ini merupakan beberapa simulasi pengujian pada sistem *aero pendulum*.

Pengujian dengan Setpoint Tetap

Vi – Diagram pada LabVIEW dan respon sistem dengan penambahan pengendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 10, 11 dan 12.



Gambar 11. Respon sistem pada setpoint 40°
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)



Gambar 12. Respon Sistem pada setpoint 60°
(Sumber: Dokumen Pribadi 2020)

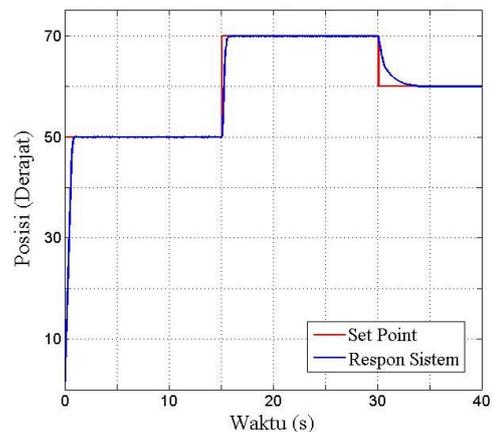
Dari hasil simulasi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12 dengan menggunakan pengendali fuzzy menunjukkan respon sistem telah sesuai dengan setpoint. Respon sistem juga menunjukkan lebih stabil dengan tidak adanya osilasi seperti sebelum ditambahkannya pengendali logika fuzzy. Respon sistem sesuai dengan karakteristik pengendali logika fuzzy yaitu respon mencapai stepoint yang telah ditentukan dengan nilai *error* yang kecil. Parameter respon pada setpoint tetap ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi sistem *aero pendulum*.

Setpoint	40°	60°	Satuan
Overshoot Maksimum (Mp)	40,069	-	Derajat
<i>Time Peak</i> (tp)	0,71	-	Detik
<i>Delay Time</i> (td)	0,32	0,45	Detik
<i>Rise Time</i> (tr)	0,46	0,7	Detik
<i>Sattling time</i> (ts)	0,6	0,87	Detik
<i>Error Steady State</i>	0,001	0,057	%

Pengujian dengan Setpoint Berubah

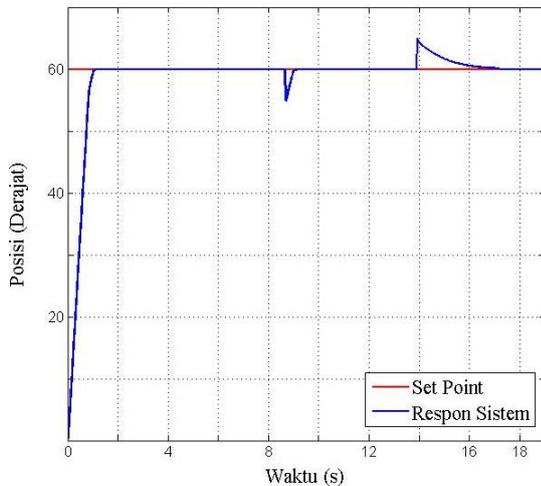
Respon sistem menggunakan pengendali logika fuzzy juga dilakukan pengujian dengan cara merubah nilai setpoint yang telah ditentukan dalam satu percobaan dengan tujuan melihat kestabilan dari sistem. Setpoint yang diberikan yaitu 50° kemudian dirubah menjadi 70° dan terakhir dirubah menjadi 60°. Hasil dari simulasi ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Respon sistem dengan setpoint berubah
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

Pengujian dengan Menggunakan Beban

Pengujian respon sistem dilakukan dengan cara penambahan dan pengurangan nilai respon sebesar 5 step sebagai beban pada simulasi yang dilakukan. Pengujian dilakukan dengan setpoint 60° . Hasil simulasi respon sistem dengan setpoint 60° ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Respon sistem pada setpoint 60° dengan beban
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2020)

Ketika respon sistem diberikan sinyal gangguan, respon sistem akan turun dari keadaan *steady state* untuk beberapa saat dan respon dapat naik kembali pada posisi *steady state*. Begitu pula ketika sinyal gangguan tersebut dihilangkan, respon akan mengalami kenaikan dan akan kembali lagi keposisi *steady state* setelah beberapa saat. Hasil pengujian sistem *aero pendulum* dengan beban memiliki nilai error *steady state* sebesar 0,355%.

PENUTUP

Simpulan

Pengujian sistem *aero pendulum* dengan pengendali logika fuzzy menggunakan software LabVIEW 2014 telah dibuat dan dapat dapat bekerja dengan baik. Pengendali logika fuzzy yang dibuat memiliki 5 fungsi keanggotaan dengan 25 *rule base* berhasil menghasilkan respon sesuai setpoint yang telah ditentukan dan mengurangi ESS (*error steady state*). Berdasarkan hasil penelitian yang merujuk pada Tabel 3, pengendali logika fuzzy pada sistem *aero pendulum* dengan menggunakan setpoint 40° menghasilkan respon sistem yang lebih baik dibandingkan menggunakan setpoint 60° , di mana *peak time* (t_p) sebesar 0,71 detik, *delay time* (t_d) sebesar 0,32 detik, *Rise time* ($t_r = 10-90\%$) sebesar 0,46 detik, *Sattling time* ($t_s = 5\%$) sebesar 0,6 detik, dan untuk nilai *error steady state* sebesar 0,001%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem ini dapat dikembangkan menggunakan metode kontrol yang lain seperti *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS), *Linier Quadratic Regulator Control* (LQR), *Model Predictive Control* (MPC) dan lain – lain guna mendapatkan hasil respon yang lebih baik. Selain itu, sistem ini juga dapat dilihat dengan *Graphical User Interface* (GUI) menggunakan software lain seperti MATLAB, Visual Studio, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Dr. Ade Gofar. 2012. *Logika Fuzzy*. JPTE-UPI.
- Artanto, Dian. 2012. *Interaksi Arduino dan LabView*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Boudi, H., M. Bouchoucha, dan M. Tadjine. 2007. "Sliding Mode Control Based on Backstepping Approach for an UAV Type – Quadrotor". *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic, and Manufacturing* Vol:1, No:2.
- Habib, Giuseppe, dkk. 2017. "Nonlinier model – based parameter estimation and stability analysis of an aero – pendulum subject to digital deleyed control". *Int. J. Dynam. Control* 5:629 – 643.
- Hadi, Ghazali S, dkk. 2014. "Autonomus UAV System Development for Payload Dropping Mission". *The Journal, Automation and System*.
- Hosseializade, T., S. M. J. Hosseini, dan H. Khaloozadeh. 2016. "Design and Inplementation Classical, State Feedback and Fuzzy Controllers on Twin Rotor System". Qazvin: 4th International Conference on Control Instrumentation and Automation (ICCA).
- Iancu, Ion. 2012. *Fuzzy Logic – Controls, Concepts, Theories and Applications*. China: Intech.
- Job, Mila Mary dan P. Subha Hency Jose. 2015. "Modeling and Control of Mechatronic Aeropendulum". *IEEE 2nd International Conference on Innovations in Information Embedded and Communication System ICIIECS'15*.
- Kasiram, Moh. 2008. *Metode Penelitian*. Malang: UIN – Malang Pers.
- Mohammadbagheri, Amin dan Mahdi Yaghoobi. 2011. "A New Approach to Control A Driven Pendulum with PID Method". *UKSim 13th International Conference on Modelling and simulation*.
- Romadhon, Aris Dwi. 2019. "DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT AERO

PENDULUM MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS LABVIEW”. Surabaya: Jurnal Teknik Elektro, Volume 08 Nomor 03.

SA, Inkyu. 2011. *Indoor visual SLAM with a Quadrotor*. University Queensland, Juli 2011.

Shanmugasundram, R., dkk., 2009. “Digital Implementation of Fuzzy Logic Controller for Wide Range Speed Control of Brushless DC Motor”. IEEE.

Sudradjat. 2008. *DASAR – DASAR FUZZY LOGIC*. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Wati, Dwi Ana Ratna. 2011. *Sistem Kendali Cerdas: Fuzzy Logic Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (UST), Algoritma Genetik (GA) dan algoritma Particle Swarm Optimazation (PSO)*. Yogyakarta: Graha Ilmu

