

DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT *AERO PENDULUM* MENGUNAKAN PENGENDALI *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*

Mochamad Masnur Khoirudin

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
email : mochamadkhoirudin16050874029@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
email : endryansyah@unesa.ac.id

Abstrak

Aero Pendulum merupakan sebuah perangkat yang dirancang sebagai salah satu implementasi real pada proses pengendalian sikap terbang pada UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang dirakit ujung pendulum memiliki motor, dengan lengan yang berayun disalah satu titik tetap dan bergerak dengan efek aerodinamis. Masalah yang timbul ialah posisi sudut sistem yang tidak dapat seimbang dan harus dapat di seimbangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendali *ANFIS* (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) berhasil dibuat serta dapat dikendalikan dengan baik pada sistem *Aero Pendulum*, sehingga sistem dapat melakukan proses penyeimbangan perangkat, dan dapat dilihat melalui GUI (*Graphical User Interface*) pada software *LabVIEW*. Implementasi pengendali *ANFIS* pada sistem dengan nilai respon dinamis terbaik ialah saat pengujian pada setpoint 60 derajat dengan data nilai delay time (*td*) sebesar 0,46 detik, rise time (*tr*) 0,92 detik, maximum overshoot sebesar 1,63%, time peak (*tp*) sebesar 0,94 detik dan settling time (*ts*) sebesar 1,31 detik.

Kata Kunci: *Aero Pendulum*, UAV, *ANFIS*, GUI, *LabVIEW*

Abstract

Aero Pendulum is a device designed as a real supplementation in the process of controlling the attitude of flying on UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) which is assembled at the end of the pendulum has a motor, with the arm swinging at one fixed point and moving with aerodynamic effects. The problem that arises is the unbalanced position of the system and must be balanced. The results shows that the *ANFIS* (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) controller is successfully made and can be controlled properly on the *Aero Pendulum* system, so that the system can perform device balancing processes, and can be seen through a *Graphical User Interface* (*GUI*) on *LabVIEW* software. Implementation of *ANFIS* controllers on systems with the best dynamic response value is when testing at a 60 degree setpoint with data delay time (*td*) of 0.46 seconds, rise time (*tr*) 0.92 seconds, maximum overshoot of 1.63%, time peak (*tp*) of 0.94 seconds and settling time (*ts*) of 1.31 seconds.

Keywords: *Aero Pendulum*, UAV, *ANFIS*, GUI, *LabVIEW*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kini mengalami kenaikan yang dapat dikatakan pesat, hal tersebut timbul dikarenakan manusia memiliki akal, dari pernyataan tersebut setiap kali manusia mengalami suatu masalah maka manusia akan menggunakan akal untuk menyelesaikan masalah tersebut. Salah satu masalah yang dijumpai manusia ialah dalam hal teknologi dimana hal tersebut merupakan penunjang kehidupan yang sangat penting untuk masa ini, demikian daripada itu manusia semakin

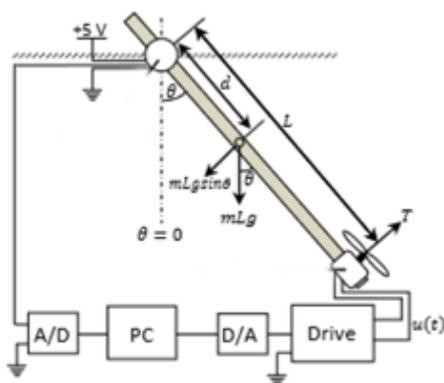
memecahkan banyak masalah dalam teknologi sehingga terciptalah kemajuan teknologi tersebut dalam 10 tahun terakhir.

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan sebagian kecil dari perkembangan teknologi yang cukup berkembang belakangan ini. UAV merupakan pesawat tanpa awak yang multifungsi sebagai pengawasan dan pengintaian serta dapat melakukan serangan melalui udara dengan cara menembak maupun menjatuhkan bom (Direng Koharmatau,2019).

Dalam Proses Perancangan UAV dibutuhkan ketelitian untuk menjadikan pesawat nirawak mengudara dengan baik sehingga menjadikan stabil dalam posisi terbangnya (Romadhon.Aris, 2019). Permasalahan yang di dapat dari perancangan UAV *single* maupun *multirotor* dalam kestabilan dalam terbang ketika beban tidak seimbang menjadikan tidak stabil pada perangkat sehingga dapat menjadikan jatuhnya perangkat saat diudara. Dari hal tersebut dibutuhkan pengaturan kecepatan motor agar dapat menstabilkan perangkat UAV. Salah satu bentuk pengujian yang digunakan ialah menggunakan sistem *Aero Pendulum* dimana merupakan jenis pendulum di salah satu ujung terdapat motor dengan baling-baling, sehingga pendulum berayun di salah satu titik tetap dengan menggunakan gaya aerodinamik yang dihasilkan oleh baling-baling (Y.Taskin,2017). *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* adalah metode pengendalian yang dikembangkan untuk mengendalikan posisi sudut pendulum.

Berdasar latar belakang masalah dan studi literatur yang sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya maka akan dilakukan pengembangan penelitian dengan mendesain sistem pengaturan posisi sudut *Aero Pendulum* menggunakan pengendali *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*, sehingga dari pengimplementasian pengendali tersebut dapat menghasilkan respon sistem dinamika dari pendulum.

Aero Pendulum merupakan pendulum dengan baling-baling disalah satu ujungnya dengan sistem pendulum untuk pengujian maka untuk mengendalikan sistem fisik perlu diketahui model matematisnya. Seperti pada gambar bahwa $u(t)$ merupakan masukan berupa sudut yang dikontrol pada lengan pendulum. Pendulum digerakan oleh baling-baling motor *brushless* dan berputar ketika tegangan telah diterapkan sehingga menghasilkan torsi T untuk menarik pendulum.



Gambar 1. Diagram Sistematis *Aero Pendulum*

(Sumber : Kizmaz dkk, 2010)

Merujuk dengan teori momentum sudut dan hukum Newton, persamaan dari pendulum di jabarkan pada persamaan dibawah ini.

$$J \cdot \ddot{\theta} + c \cdot \dot{\theta} + m_L \cdot g \cdot d \cdot \theta = T \quad (1)$$

Dari persamaan diatas akan di *Laplace* menggunakan domain (s) menjadi :

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

Dari persamaan tersebut di dapatkan fungsi alih

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

Dapat disederhanakan, kemudian

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

Keterangan:

- s = hasil dari *Laplace* dalam domain waktu
- T = gaya dorong yang disediakan oleh motor *brushless* DC (Nm/kg)
- T(s) = gaya dorong dalam domain waktu (*Laplace*)
- V = tegangan diterapkan pada motor *brushless* DC (Volt)
- V(s) = tegangan dalam domain waktu (*Laplace*)
- θ = sudut (derajat)
- $\theta(s)$ = sudut dalam domain waktu (*Laplace*)
- $\dot{\theta}$ = kecepatan sudut (rad/s)
- $\ddot{\theta}$ = percepatan sudut (rad/s²)
- K_m = parameter *motor propeller*
- m = berat bandul (kg)
- d = jarak dari titik gantung ke pusat massa (m)
- J = momen inersia (kg.m²)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- c = koefisien redaman kental (kg.m²/s)

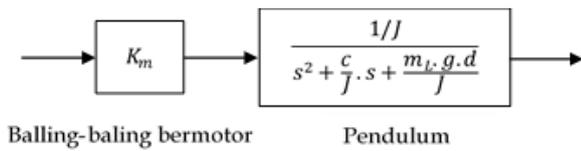
Hasil dari persamaan diatas terdapat gaya dorong yang dihasilkan, dimana gaya dorong bukan merupakan variable yang digunakan untuk dikontrol, karena pada sistem tersebut menggunakan tegangan yang dimasukkan, sehingga persamaan tegangan motor *Brushless* dengan gaya dorong, dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$T(s) = K_m \cdot V(s) \quad (5)$$

dimana,

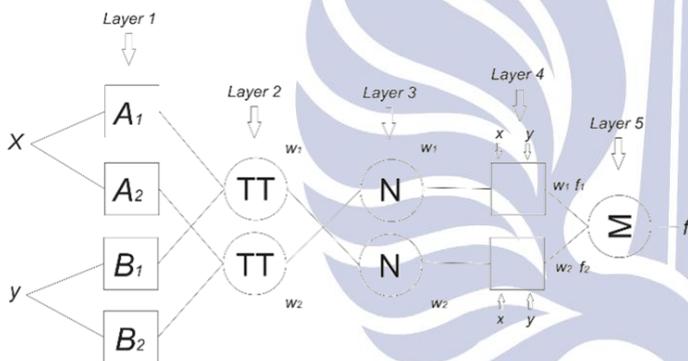
- K_m = kecepatan putaran baling-baling motor (rad/s/V)
- V(s) = tegangan (V)

Dari persamaan 4 dan persamaan 5 maka diagram blok sistem Aero Pendulum dapat di tulisakan sebagai berikut pada gambar.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Aero Pendulum Open Loop (Sumber: Kizmaz dkk,2010)

Pada tahun 1993 J.Jang memperkenalkan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* disingkat ANFIS, merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada *fuzzy inference system* dengan penggunaan suatu prosedur *hybird learning* (Widodo,2015). Arsitektur ANFIS terdiri dari lima layer (lapisan), setiap lapis terdapat titik (Chaudary,2016). Terdapat dua macam titik yaitu bersimbol kotak merupakan titik adaptif, bersimbol lingkaran merupakan titik tetap. Arsitektur ANFIS dengan model Sugeno dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur ANFIS (Sumber : Widodo,2005)

Layer 2, Dinotasikan phi, Setiap *node* pada *layer* ini berfungsi untuk menghitung kekuatan aktivasi pada setiap rule sebagai produk dari semua masukan.

Layer 3, Dilambangkan dengan N atau normalisasi, setiap *node* bersifat *non-adaptive* berfungsi hanya untuk menghitung rasio antara *firing strenght* pada rule ke-I terhadap total *firing strenght* dari semua rule.

Layer 4, Merupakan lapisan defuzzifikasi setiap *node* pada lapisan ini bersifat adaptif, dimana merupakan himpunan parameter pada *fuzzy model* sugeno.

Layer 5, Lapisan total keluaran terdiri dari satu *node* tunggal dilambangkan dengan ‘Sigma’ pada layer ini berfungsi mengumpulkan seluruh *output* dari layer 4, didefinisikan sebagai penjumlahan dari semua sinyal yang masuk (Kusumadewi, 2006).

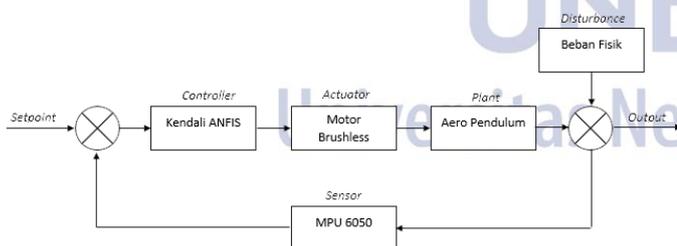
ANFIS dalam kerjanya mempergunakan algoritma belajar hibrida, yaitu menggabungkan metode *Least square estimator* (LSE) dan *error backpropagation* (EBP). Dalam struktur ANFIS metode EBP dilakukan pada *layer 1*, sedangkan metode LSE dilakukan pada *layer 4*. Pada *layer 1* merupakan parameter dari *fuzzy membership function* sifatnya dengan keuaran sistem ialah nonlinier. Metode EBP merupakan proses belajar pada *layer* ini sedangkan pada *layer 4* parameter yang linier dengan keluaran sistem, yang menyusun basis kaidah fuzzy. Proses belajar untuk memperbarui parameter menggunakan metode *Least-square Estimator* (LSE).

METODE Pendekatan Penelitian

Penelitian secara kuantitatif digunakan dalam penelitian ini di definisikan bahwa suatu proses memecahkan suatu problematika dengan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai pemecahan masalah tersebut (Priyono,2008).

Desain Sistem

Pengendalian posisi sudut Aero Pendulum menggunakan sensor *Inertial Measurement Unit* 6050 dengan pengendali ANFIS ditunjukkan pada diagram seperti pada gambar 4. Nilai masukan sistem berupa posisi sudut yang dikendalikan oleh pengendali ANFIS diproses pada perangkat Arduino Mega yang membantu proses penestabilan pada *plant*.

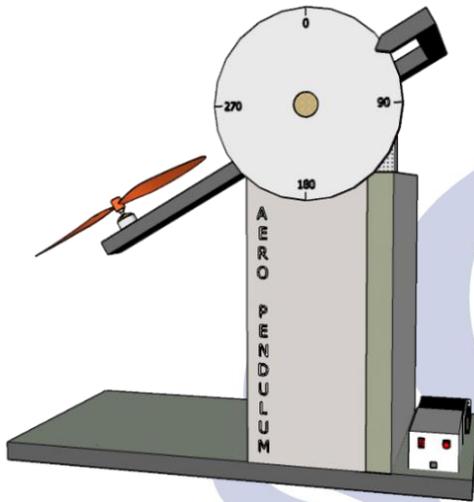


Gambar 4. Blok Diagram Sistem (Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

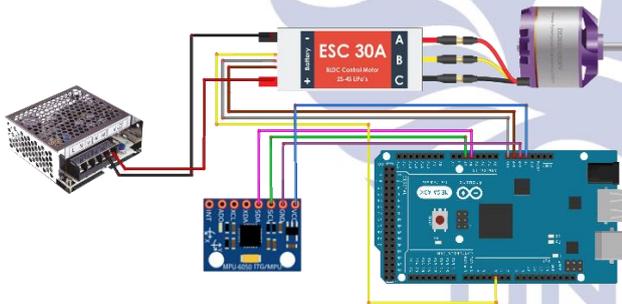
Layer 1, Berfungsi sebagai proses *fuzzyfication*. Output dari node I pada layer 1 dinotasikan sebagai O1i. Setiap node layer I bersifat adaptif.

Hasil dari keluaran pengendalian berupa tegangan yang akan dikonversi menjadi nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) pada ESC (*Electrical Speed Control*) untuk mengatur kecepatan motor. MPU6050 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur nilai sudut dari kemiringan plant.

Rancang Bangun Hardware



Gambar 5. Rancang Bangun *Hardware Aero Pendulum*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)



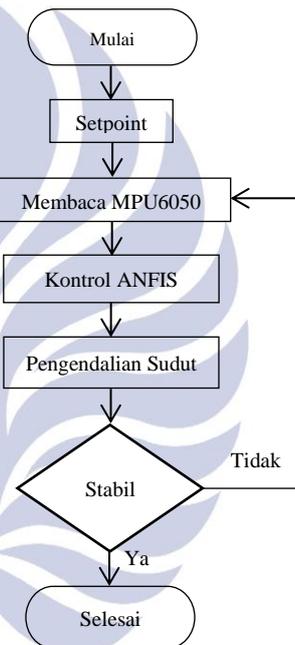
Gambar 6. *Wiring Diagram Aero Pendulum*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada gambar 5 merupakan rancang bangun hardware pada sistem *Aero Pendulum* yang terdiri dari alas yang terbuat dari balok kayu dengan ukuran 60x28 cm, Balok Penopang legan dengan tinggi 50cm. Lengan *Aero Pendulum* memiliki panjang 40cm dengan propeller pada motor berukuran 7x5 inch dan kotak kontrol berukuran 5x10x5cm.

Selain itu dilakukan pengkabelan untuk rangkain elektrik terdapat pada gambar 6 yang terdiri dari motor *brushless* yang terhubung dengan *Electrical Speed Control* dan MPU6050 dimana akan terhubung dengan pin pada *microcontroller* Arduino Mega2560, Sumber tegangan di suplai oleh *power supply* 12V, 5 ampere.

Rancang Bangun Software

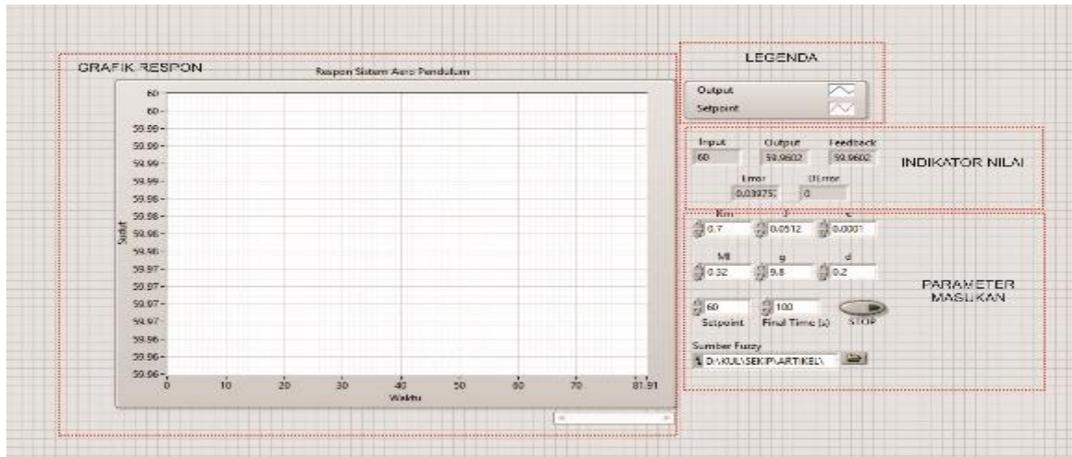
Pada perangkat lunak sistem *Aero Pendulum* didukung oleh perangkat lunak Arduino IDE yang memiliki fungsi untuk memasukkan program kontrol pada sistem, dimana pada proses perancangannya ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 7. Diagram Alir Rancang Bangun *Software*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan simulasi pada *software* LabVIEW, setelah parameter yang digunakan dinilai sudah sesuai, maka akan dilanjutkan pada tahap pengujian pada Sistem *Aero Pendulum*. Dari Hasil pengujian pada sistem terjadi proses rekam data yang kemudian akan diolah secara manual menggunakan *software* Matlab untuk dilakukan analisis terhadap respon sistem.



Gambar 8. GUI Sistem Aero Pendulum
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menjelaskan dan menampilkan GUI (*Graphical User Interface*) serta hasil dari pengujian simulasi sistem *Aero Pendulum*. Pengujian ini dilakukan dengan simulasi dari fungsi alih sistem *Hardware Aero Pendulum* pada *software* LabVIEW.

$$G(s) = \frac{13.6719}{s^2 + 0.000195s + 12.25} \quad (6)$$

Keterangan:
G(s) = Fungsi alih pemodelan sistem

Pemodelan Sistem Aero Pendulum

Dalam mendapatkan pemodelan sistem *Aero Pendulum* harus diketahui terlebih dahulu spesifikasi dari *hardware* untuk dapat diterapkan dalam fungsi alih sistem yang telah diketahui pada bab sebelumnya. Berikut tabel spesifikasi *hardware Aero Pendulum*.

Tabel 1. Spesifikasi Hardware Aero Pendulum

Alat	Spesifikasi	Satuan
Panjang Lengan (L)	0,4	M
Panjang Pusat massa (d)	0,2	M
Massa (m)	0,32	Kg
Momen Inersia (J)	9,8	Kg.m ²
Percepatan gravitasi (g)	9,8	m/s ²
Koefisien redaman (c)	0,0001	Kg.m ² /s

(Sumber : Romadhon.Aris, 2019)

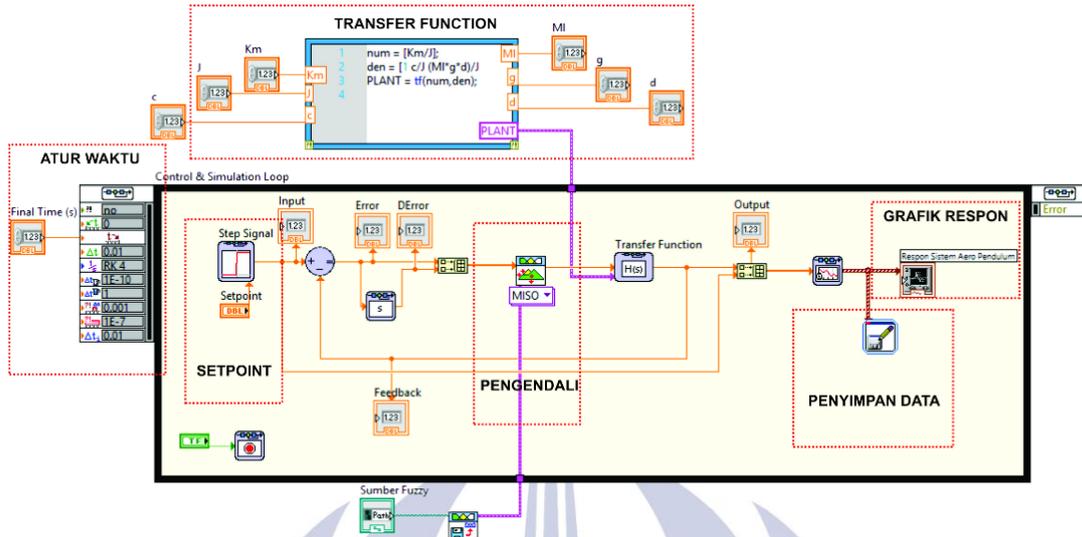
Dari tabel spesifikasi dapat dilakukan dengan memasukkan nilai yang diperoleh dari tabel spesifikasi kedalam persamaan 4. Sehingga didapatkan hasil *transfer function* sistem *Aero Pendulum* sebagai berikut.

GUI dan Diagram Sistem Aero Pendulum

Vi-Diagram atau bisa di sebut sebagai *Virtual Instruments* diagram karena program yang digunakan pada LabVIEW merupakan program berbasis grafis diagram seperti instrument.

Dalam penelitian ini digunakan diagram Vi untuk melakukan proses simulasi dari *hardware Aero Pendulum* sehingga di dapatkan hasil respon sistem yang akan di analisa dari hasil respon tersebut.

Pada gambar 8 terlihat terdapat 4 bagian dari GUI sistem Aero Pendulum. Pertama merupakan bagian terbesar dari GUI yaitu “Grafik Respon” dalam bagian ini terdapat sebuah jendela yang nantinya akan menampilkan grafik dari respon sistem, ketika sistem dijalankan. Kedua merupakan bagian “Legenda” yaitu keterangan yang terdapat dalam grafik respon sistem untuk membedakan manakah grafik untuk respon dan grafik untuk *setpoint*. Ketiga adalah “Indikator Nilai” yang memiliki fungsi sebagai indikator dari respon sistem yang terdiri dari nilai masukan, keluaran, umpan balik, *error* dan *delta error* untuk masukan pengendalian.. Keempat adalah “Parameter Masukan” , dalam bagian ini terdapat nilai masukan untuk fungsi alih sistem, masukan untuk *setpoint* dan *final time* yaitu waktu untuk sistem berjalan serta terdapat box untuk memasukkan pengendali yang sudah di simpan dalam sebuah file sehingga lebih mudah dalam pengoperasian sistem.

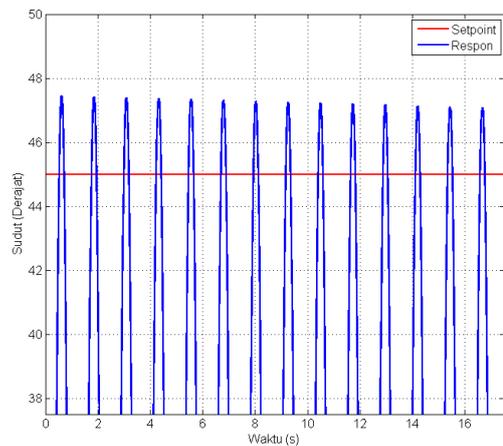


Gambar 9. Diagram Sistem Aero Pendulum
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada gambar 9 ditunjukkan diagram Vi Loop tertutup untuk sistem *Aero Pendulum* pada *software* LabVIEW, dalam gambar tersebut terdapat beberapa bagian yang memiliki masing-masing fungsi terhadap sistem. Blok atur waktu yang terdapat dibagian paling kiri merupakan blok yang juga terintegrasi dengan GUI untuk memprogram pada sistem ketika dijalankan akan berkerja dalam kurun waktu yang dapat ditentukan oleh pengguna. Blok setpoint adalah signal step yang nilai dari sinyal tersebut dapat dirubah sesuai keinginan sebagai parameter masukan sistem.

Untuk mengatur dalam sistem *Aero Pendulum* menggunakan pada blok pengendali dimana untuk pengendalian terdapat dalam *file* yang sudah disimpan dalam komputer sehingga pengguna hanya tinggal memasukan dalam blok ini sesuai keinginan melalui GUI yang telah tersedia. Kemudian blok *transfer function* dari sistem yang merupakan fungsi alih sistem *Aero Pendulum*. Untuk keluaran dari sistem akan di tampilkan melalui grafik *wavefrom chart* yang terdapat dalam blok grafik respon, untuk mempermudah menganalisa data respon sistem digunakan blok penyimpan data untuk menyimpan hasil respon sistem kedalam file yang dapat dibuka dengan *software microsoft excel*.

Dari *transfer function* yang diketahui dari sub bahasan sebelumnya maka respon sistem *Aero Pendulum* tanpa pengendali ditunjukkan pada gambar 10.

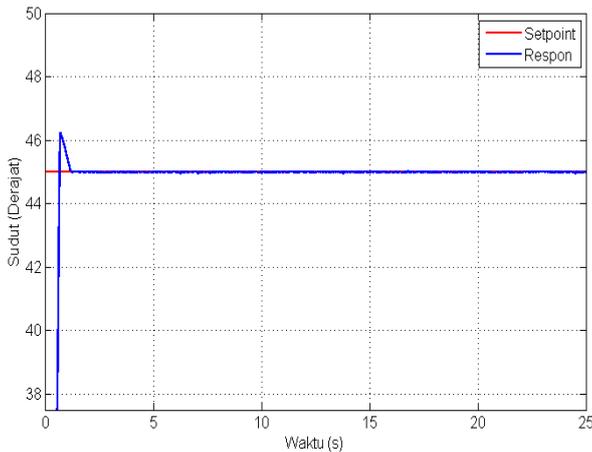


Gambar 10. Respon Sistem Tanpa Pengendali
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

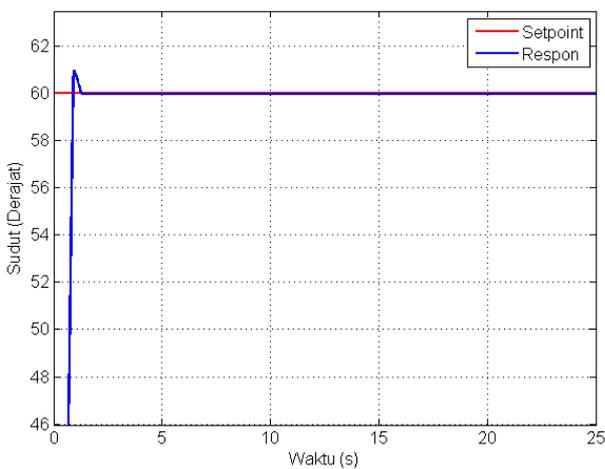
Pengujian Sistem Aero Pendulum

Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan software LabVIEW yang sudah terdesain sedemikian rupa untuk sistem *Aero Pendulum* yang telah di dapatkan dari pelatihan ANFIS pada software Matlab. Dalam pengujian terdapat beberapa tahap, pertama dilakukan dengan memasukkan berupa dua *setpoint* tetap, kedua pengujian dengan beban dan terakhir dengan perubahan *setpoint*.

Pengujian Dengan Setpoint Tetap



Gambar 11. Respon Sistem Setpoint 45 Derajat
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)



Gambar 12. Respon Sistem Setpoint 60 Derajat
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Pada gambar 11 dan gambar 12 merupakan hasil respon yang telah direkam dari hasil pengujian sistem Aero Pendulum dengan *setpoint* yang berbeda yaitu 45 dan 60 dari kedua hasil tersebut dapat di analisis karakteristik respon sebagai berikut, untuk gambar 11 dengan respon 45 derajat. Didapatkan nilai *rise time* sebesar 0,68s,

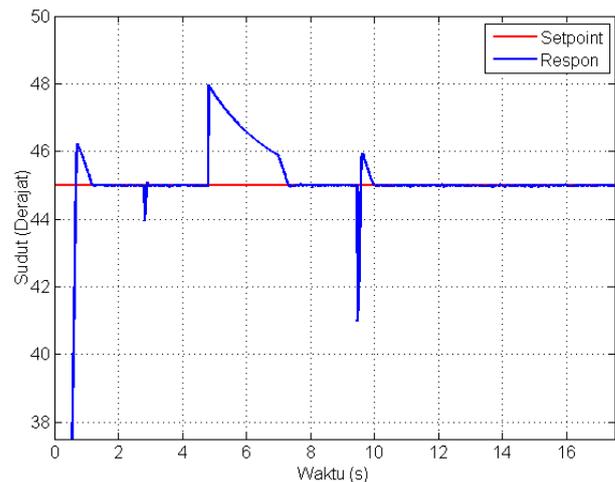
delay time sebesar 0,33s, *maximum overshoot* sebesar 2,75%, *peak time* sebesar 0,72s dan *settling time* sebesar 1,26s. Pada gambar 12 dengan *setpoint* 60 Derajat didapatkan karakteristik respon dengan nilai *rise time* 0,92s, *delay time* sebesar 0,46s, *maximum overshoot* sebesar 1,63%, *peak time* sebesar 0,94s dan *settling time* sebesar 1,31s.

Dari hasil kedua respon sistem diatas didapatkan karakteristik respon yang berbeda dan dapat dibandingkan yang akan dimuat dalam tabel berikut.

Tabel 2. Perbandingan Respon Sistem Aero Pendulum

Setpoint	45°	60°
Td	0,35s	0,46s
Tr	0,68s	0,92s
Ts	1,26s	1,31s
Mp	2,75%	1,63%
Tp	0,72s	0,94s

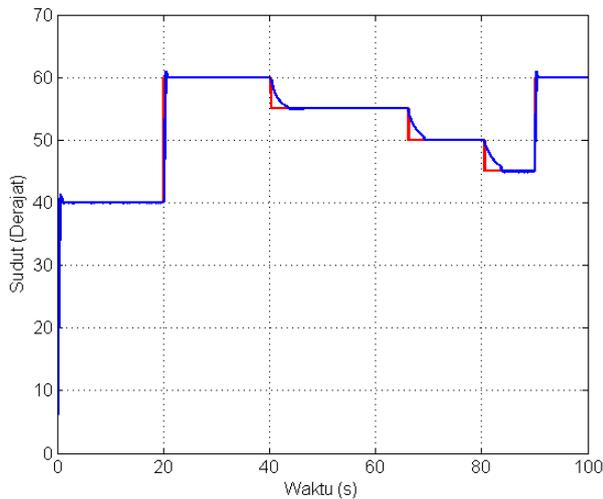
Pengujian Dengan Beban dan Perubahan Setpoint



Gambar 13. Pengujian Dengan Beban
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Gambar 13 merupakan hasil dari respon sistem *Aero Pendulum* dengan *setpoint* yang dimasukkan yaitu sebesar 45 derajat dalam pengujian ini digunakan penambahan dan pengurangan sinyal *step* sebagai pengganti beban asli sebesar 2 step dan 5 step sinyal. Dari hasil tersebut dapat di lihat bahwasannya ketika sistem diberikan sinyal *step* maka terjadi penurunan respon akan tetapi dapat kembali menuju *setpoint* yang telah di tentukan sebelumnya, saat sinyal *step* di kembalikan pada posisi normal sebagai gangguan maka

akan terjadi kenaikan respon sinyal kemudian respon dapat kembali ke setpoint.



Gambar 14. Pengujian Dengan Perubahan Setpoint
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2020)

Gambar 14 adalah hasil dari respon pengujian sistem *Aero Pendulum* dengan cara merubah setpoint yang ditentukan dengan rentang waktu sekitar 20 detik dilakukan perubahan *setpoint* dari 40 menjadi 60 dilanjutkan 55 turun menjadi 50 diturunkan kembali 45 dan yang terakhir dinaikkan menjadi 60 derajat, dari hasil pengujian perubahan tersebut sinyal respon dapat mengikuti *setpoint* yang diinginkan, dengan karakter respon ketika *setpoint* dinaikkan maka respon juga dapat mengikuti naik akan tetapi terjadi *overshoot* dan ketika *setpoint* diturunkan maka respon dapat mengikuti dengan waktu yang lebih lama dari respon ketika *setpoint* naik.

PENUTUP

Simpulan

Desain sistem pengaturan posisi sudut *Aero Pendulum* menggunakan pengendali *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dapat dilakukan menggunakan *software* MATLAB yang kemudian hasil *training data* dan *membership function* tersebut akan di masukan dalam *software* LabVIEW dimana *software* tersebut terdapat GUI sebagai tampilan antarmuka dengan pengguna sehingga mempermudah dalam melakukan pengujian dan pengambilan data sistem, hasilnya sistem dapat dibuat serta bekerja dengan baik dalam mengendalikan posisi sudut *Aero Pendulum* yang diinginkan hanya saja terdapat *overshoot* saat pertama kali sistem naik dari angka nol menuju *setpoint* kemudian secara perlahan menuju nilai *setpoint* tersebut secara langsung proses *osilasi* pada sistem tanpa pengendali dapat dihilangkan. Berdasarkan hasil pengambilan, pengujian dan analisis data dapat disimpulkan

bahwa pengendali ANFIS dapat dengan baik dalam mengatasi *osilasi* pada sistem sehingga dapat mempertahankan posisi sudut dibandingkan dengan respon sistem tanpa menggunakan pengendali.

Saran

Terdapat kekurangan pada *plant* yaitu ketika memulai *inisialisasi* maka *plant* tiba-tiba akan bergerak sesaat kemudian kembali ke posisi 0, peneliti menyarankan perlu dilakukan perbaikan guna menghilangkan hal tersebut karena dapat menimbulkan kejadian yang tidak diinginkan. Untuk mengoptimalkan kinerja dari *plant*, peneliti menyarankan untuk mengganti mikrokontroler Arduino MEGA2560 dengan Ni-DAQ produk dari National Instrument yang dapat dihubungkan dengan *software* LabVIEW sehingga mempermudah proses pengontrolan, monitoring, pengecekan dan *troubleshooting* pada *plant*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaudhary, Himanshu, dkk. 2016. "ANFIS Based Speed Control of DC Motor". IEEE.
- J. Jang, ANFIS. 1993. "Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System". IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 23 (3) (1993) 665685.
- Kizmaz, Hakan, dkk. 2010. "Sliding Mode Control of Suspended Pendulum". Modern Electric Power Systems, Wroclaw, Poland. MEPS'10 – paper P14.
- Koharmatau, Pen. 2019. "Pesawat Drone UAV CH-4, Menjadi Kekuatan TNI AU". (Online), (<http://tni-au.mil.id/pesawat-drone-uav-ch-4-menjadi-kekuatan-tni-au/>, diakses 22 Desember 2019).
- Kusumadewi, S & Hartati S. 2006. Neuro Fuzzy : Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Sayaraf. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Patnani, Miwa. 2013."Upaya Meningkatkan Kemampuan Problem Solving Pada Mahasiswa". Jurnal Psikogenesis. Vol. 1. Juni 2013.
- Priyono. 2016. "Metode Penelitian". Zifatama Publishing. Sidoarjo
- Raju, S. Srinivasulu, T.S. Darshan, dan B. Nagendra. 2012. "Design of Quadratic Dynamic Matrix Control for Driven Pendulum System". International Journal of Electronics and Communication Engineering 0974 – 2166 volume 5, Nomor 3, pp363-370.

Romadhon, Aris Dwi. 2019. "DESAIN SISTEM PENGATURAN POSISI SUDUT AERO PENDULUM MENGGUNAKAN PENGENDALI PID BERBASIS LABVIEW". *Jurnal TeknikElektri. Volume 08 No.03, 637-645.*

Taskin, Yener. 2017. "*Fuzzy pid controller for propeller pendulum*". *IU –Journal Electrical Electron Eng.*, vol.17, no.1, pp. 3175-3170

Widodo, Thomas Sri. 2005. "Sistem Neuro Fuzzy untuk Pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali". Yogyakarta : Graha Ilmu.

