

PENGENDALIAN VIBRASI *SINGLE LINK FLEXIBLE JOINT MANIPULATOR ROBOT* BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER

Fahmi Mahardi Mochtar

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : fahmimochtar16050874021@mhs.unesa.ac.id

Muhamad Syariffuddien Zuhrie

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia
e-mail : zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Robot modern merupakan sekumpulan komponen dengan sejumlah ukuran berbeda dan didalamnya memiliki program yang berfungsi sebagai pendukung dalam melakukan kinerja atau aktifitas sesuai dengan kebutuhan. Robot modern juga bisa disebut dengan teknologi yang menerapkan sistem kecerdasan buatan yang mampu bekerja dengan kecepatan tinggi secara efektif dan efisien. Salah satu bentuk robot modern yang sudah digunakan pada skala industri adalah robot single link flexible joint manipulator. Meski demikian masih ada kekurangan yang harus diperhatikan yaitu dalam pergerakannya terdapat fleksibilitas dimana dapat menyebabkan getaran atau vibrasi dan defleksi statis. Vibrasi ini akan berdampak langsung terhadap robot dimana mampu menurunkan akurasi titik akhir dalam pergerakan dan dapat mengakibatkan penyelesaian dalam waktu yang lebih lama. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah memperbarui sistem pengendalian menggunakan kendali Fuzzy Logic Controller dengan harapan mampu mengatasi vibrasi pada robot manipulator dan dapat meningkatkan akurasi titik akhir lebih baik lagi. Hasil dari penelitian ini adalah pengendali fuzzy mampu meredam nilai Mp (Maksimum Peak/ Overshoot) menjadi 14 % dari 194 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 4,14 s ketika setpoint 90°, menjadi 16 % dari 96 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 13,04 s ketika setpoint 180°, dan menjadi 19 % dari 53,7 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 16,36 s ketika setpoint 270°.

Kata Kunci: Robot Manipulator, Fuzzy Logic Controller, Kendali Vibrasi

Abstract

Modern Robot is a set of components with a number of different sizes and in it have a program that serves as a support in conducting the performance or activities according to the needs. Modern robots can also be called a technology that applies artificial intelligence system that is capable of working at high speed effectively and efficiently. . One form of modern robot that has been used on an industrial scale is a single link flexible joint manipulator robot. However there are still shortcomings that must be considered that in its movement there is flexibility which can cause vibration and static deflection. Vibration will directly impact the accuracy of the robot which is able to lower the final point in the settlement movement and can result in a longer period of time. So the purpose of this study was to update the control system using Fuzzy Logic Controller control in the hope of overcoming the vibration of the robot manipulator and can improve the accuracy of endpoint better. The results of this study are fuzzy controllers are able to reduce the value of Mp (Maximum Peak / Overshoot) to 14% from 194% and able to reach the end point at 4.14 s when the setpoint is 90°, to 16% from 96% and able to reach the end point at the time is 13.04 s when the setpoint is 180°, and becomes 19% from 53.7% and is able to reach the endpoint at the time of 16.36 s when the setpoint is 270°.

Keywords: Manipulator Robot, Fuzzy Logic Controller, Vibration Control

PENDAHULUAN

Setelah memasuki era modern seperti saat ini, kebutuhan akan teknologi telah berkembang dengan sangat pesat dan paling dibutuhkan oleh dunia industri. Bentuk kemajuan teknologi yang paling bermanfaat saat ini adalah teknologi robot khususnya teknologi robot modern, dimana jenis robot ini yang paling sering digunakan dalam dunia industri di dunia. Robot modern itu sendiri merupakan sekumpulan komponen dengan sejumlah ukuran berbeda dan didalamnya memiliki program yang berfungsi sebagai pendukung dalam melakukan kinerja atau aktifitas sesuai dengan kebutuhan. Paling dasar dari aktifitas robot modern yang paling sering digunakan adalah memindahkan barang atau alat penting lainnya guna mempermudah dan mengefisiensikan kinerja dalam dunia industri (Andik Yulianto, 2014).

Robot modern juga bisa disebut dengan teknologi yang menerapkan sistem kecerdasan buatan yang mampu bekerja dengan kecepatan tinggi secara efektif dan efisien. Dengan menerapkan sistem inilah robot modern dapat meningkatkan performa kerja proses produksi dalam dunia industri. Salah satu bentuk robot modern yang sudah digunakan pada skala industri adalah robot *single link flexible joint manipulator*. Robot ini memiliki sistem mekanik yang terdiri dari susunan *link* (rangka) dan *joint* (sendi) yang mampu menghasilkan gerakan terkontrol (Rafiuddin, 2015). Jenis robot ini memiliki bentuk penggerak atau aktuator yang lebih kecil dan hanya membutuhkan konsumsi energi lebih rendah serta memiliki nilai kontruksi yang murah (M.Abdullahi dkk, 2014). Tujuan dari perancangan robot yang menggunakan flexible joint adalah untuk dapat meningkatkan kapasitas muatan bahan dengan memiliki gerakan yang lebih cepat, stabil, serta pengoperasian yang aman (Rafiuddin, 2015).

Dari beberapa keuntungan dan kelebihan dari robot ini, masih ada kekurangan yang harus diperhatikan yaitu dalam pergerakannya terdapat fleksibilitas dimana dapat menyebabkan vibrasi dan defleksi statis. Vibrasi adalah gerakan bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu yang disebabkan oleh efek eksternal pada motor penggerak. Vibrasi ini akan berdampak langsung terhadap robot dimana mampu menurunkan akurasi titik akhir dalam pergerakan dan dapat mengakibatkan penyelesaian dalam waktu yang lebih lama (Ismail H. A, dkk. 2012).

Dengan munculnya permasalahan diatas mendorong adanya beberapa penelitian dan pengembangan mengenai sistem ini yang dilakukan oleh Yosin Alfa Syahrani Lutfianam dengan judul “Rancang Bangun Pengendalian Vibrasi Pada *Single Link Flexible Joint Manipulator* Robot Berbasis PID Controller” (Yosin Alfa Syahrani Lutfianam, 2018). Penelitian ini menggunakan PID Controller dengan metode tuning Ziegler-Nichols, *software* Arduino dan Matlab 2014a yang digunakan

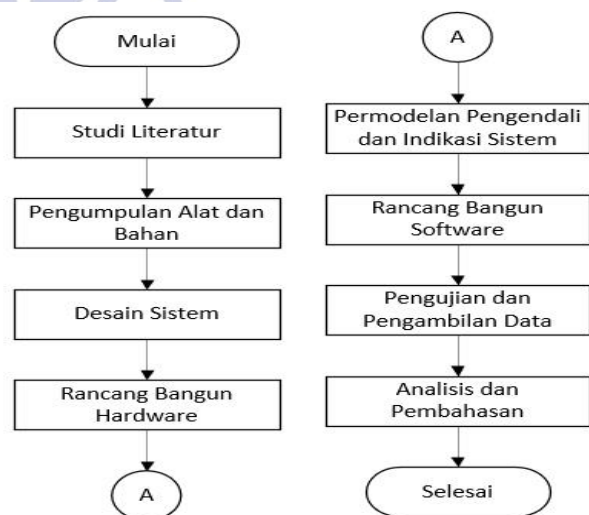
sebagai perancangan software dan analisis hasil, serta menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler.

Kemudian untuk penelitian kedua dilakukan oleh Wahyu Raka Adzani dengan judul “ Perancangan Kontroller PID Tyreus-Luyben Untuk Kendali Vibrasi Pada Robot *Single Link Flexible Joint Manipulator*” (Wahyu Raka Adzani, 2019). Tujuan dari penelitian ini adalah mengatasi masalah fleksibilitas pada robot menggunakan PID Controller dengan metode Tyreus-Luyben dan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler.

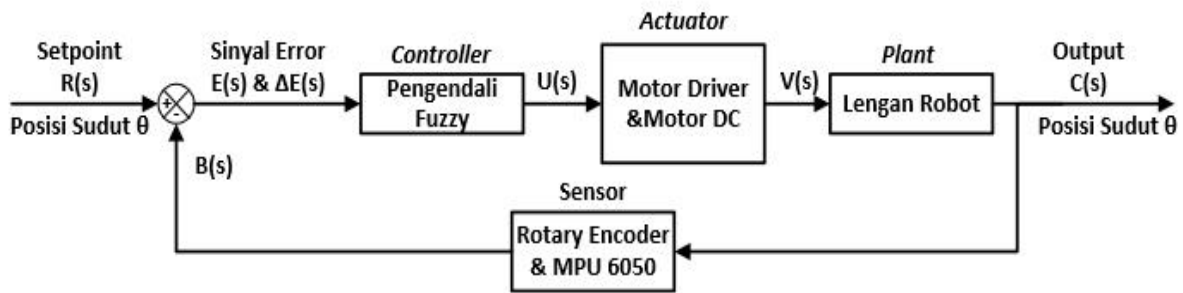
Dari kedua penelitian tersebut memiliki beberapa saran dalam rangka pengembangan sistem yang lebih baik lagi, salah satunya adalah melakukan penelitian dengan membuat rancangan pengendalian dengan menggunakan metode pengendalian lain untuk mendapatkan hasil sistem yang lebih baik. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah memperbarui sistem pengendalian menggunakan kendali *Fuzzy Logic Controller* dengan harapan mampu mengatasi vibrasi dan mampu menstabilkan titik akhir pada robot manipulator lebih baik dari penelitian sebelumnya dengan bentuk *plant* yang sama. Dari tujuan tersebut maka peneliti akan melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan Sistem Pengendalian Vibrasi Pada *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot* Berbasis Fuzzy Logic Controller”.

METODE

Pendekatan yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dimana penelitian yang terdiri dari perhitungan angka, pengumpulan data melalui pengukuran, disajikan secara sistematis dan terstruktur dengan jelas sejak tahap perancangan hingga pembuatan desain penelitian. Dalam pengumpulan data banyak menggunakan angka, penafsiran terhadap data yang dikumpulkan serta penampilan dari hasil penelitian (Kurniasih, 2015).



Gambar 1. Rancangan Penelitian



Gambar 2. Desain Sistem

Dalam penelitian kuantitatif terdapat suatu proses dalam menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat analisis keterangan mengenai apa yang akan diteliti (Kasiram, 2008).

Studi Literatur

Sebelum melakukan penelitian ini, beberapa penelitian yang masih berhubungan atau relevan dari beberapa penelitian sebelumnya akan ditemukan suatu rumusan masalah. Pengajuan pertanyaan-pertanyaan penelitian yang jawabannya harus dicari menggunakan data yang relevan sesuai dengan pembahasan. Kemudian peneliti perlu menetapkan informasi-informasi yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah dirumuskan. Sebagai bahan literatur peneliti mempelajari banyak buku manual dan jurnal mengenai robot *single link flexible joint manipulator* serta materi pendukung lainnya.

Desain Sistem

Desain sistem yang digunakan untuk pengendalian vibrasi pada robot *single link flexible joint manipulator* menggunakan pengendali Fuzzy Logic Controller yang ditunjukkan pada blok digram seperti pada gambar 2. Blok digram sistem yang digunakan adalah blok diagram *closed loop* dimana memiliki sinyal *output* yang memiliki pengaruh langsung terhadap pengendali. Pengendali ini yang nantinya digunakan untuk memperkecil kesalahan dalam suatu sistem.

Sistem pada *plant* menggunakan *inputan* (*Setpoint*) $R(s)$ berupa posisi sudut (θ) yang diinginkan dengan pengendali yang digunakan adalah fuzzy logic controller. Metode yang digunakan pada pengendali fuzzy logic controller adalah metode mamdani. Kontroler atau pengendali akan diolah mikrokontroler Arduino mega 2560 yang nantinya akan membantu proses pengendalian vibrasi pada lengan robot.

Hasil *outputan* dari mikrokontroler Arduino mega 2560 berupa sinyal PWM $U(s)$ yang nantinya diteruskan menuju motor driver untuk dikonversi menjadi sinyal $V(s)$ yang dapat mengatur arah putar dan kecepatan dari motor

DC 12V. Motor DC 12V berfungsi sebagai aktuator untuk menggerakkan lengan robot sesuai dengan sudut yang sudah ditentukan. *Rotary encoder* sebagai sensor berfungsi untuk membaca posisi sudut putar lengan robot yang telah digerakkan oleh aktuator dan sensor MPU 6050 berfungsi sebagai pembaca getaran yang kemudian hasil pembacaan sudut dan getaran akan digunakan sebagai sinyal umpan balik $B(s)$. Kemudian sinyal umpan balik akan di summing dengan *setpoint* yang akan menghasilkan sinyal error $E(s)$ dan $\Delta E(s)$. Variabel *output* $C(s)$ yang dihasilkan berupa posisi sudut (θ) yang sebenarnya.

Rancang Bangun Hardware

Pada rancang bangun hardware *plant* robot single link flexible joint manipulator terdiri dari rangka penopang yang terbuat dari bahan kayu. Rangka penopang tersebut memiliki dimensi $P = 42$ cm, $L = 34$ cm, dan $T = 41$ cm. Lengan yang digunakan pada robot menggunakan penggaris besi sepanjang 50 cm. *Plant* ini juga dilengkapi dengan *box controller* yang digunakan sebagai tempat pusat kendali mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan sebagai pengatur *input* dari nilai *setpoint*. Bentuk fisik dari *plant* ini ditunjukkan pada gambar 3.


 Gambar 3. Bentuk Fisik *Plant*

Pada bagian rancang bangun hardware terdiri dari catu daya, board Arduino Mega 2560, motor driver, motor DC, dan *rotary encoder*. Catu daya digunakan untuk menyuplai tegangan listrik untuk rangkaian *plant* dengan

sumber listrik 220 VAC yang nantinya akan dikonversi ke tegangan 12 VDC untuk board Arduino Mega 2560 dan 5 VDC untuk rotary encoder dan MPU 6050. Dalam sistemnya, motor DC ini tidak akan bekerja jika tidak dibantu dengan motor driver L298N. Fungsi dari motor driver ini adalah untuk mengatur arah pergerakan maupun kecepatan motor. Dalam pergerakan lengan robot ini dibantu dengan sensor *rotary encoder* yang berfungsi sebagai indikator maupun monitoring gerakan posisi arah sudut putar dan sensor MPU 6050 untuk membaca getaran pada lengan robot. Untuk *wiring* dari robot *single link flexible joint manipulator* ditunjukkan pada tabel 1 sampai tabel 3.

Tabel 1. Sistem Wiring Motor Driver

Arduino	
ENA	Digital PWM Pin 10
INA 1	Digital PWM Pin 8
INA 2	Digital PWM Pin 9
Motor DC 12V	
OUT 1	Ground Motor DC
OUT 2	12 V Motor DC
Power Supply	
Input 12 V	12 V DC
Ground	Ground 12 V DC & GND Arduino

Tabel 2. Sistem Wiring Rotary Encoder

Arduino	
Kabel Merah	5 V
Kabel Hitam	GND
Kabel Hijau	Digital PWM Pin 4
Kabel Putih	Digital PWM Pin 3

Tabel 3. Sistem Wiring Push Button

Arduino	
PB Merah	Digital PWM Pin 2
PB Kuning	Digital PWM Pin 5
PB Hijau	Digital PWM Pin 6
PB Biru	Digital PWM Pin 7

Permodelan Pengendali dan Indikasi Sistem

Sebelum merancang permodelan pengendali fuzzy langkah pertama adalah dengan menentukan indikasi sistem pada *plant* yang akan diteliti dimana berupa model

matematika. Untuk menentukan model matematika pada *plant* dapat dilakukan dengan menganalisa respon yang dihasilkan *plant*. Dengan menganalisa hasil respon tersebut maka dapat diketahui model matematika yang akan digunakan berupa sistem orde pertama atau sistem orde kedua. Merancang permodelan pengendali fuzzy yang sesuai dengan *plant* yang akan dibuat maka diimplementasikan fuzzy logic pada pengendali motor DC dengan menggunakan metode Mamdani.

Fuzzifikasi

Pengendalian ini dirancang dengan menggunakan dua inputan dan satu outputan. Inputan pertama adalah *Error* yang merupakan selisih antara nilai pembacaan dari *rotary encoder* dengan nilai keluaran. Untuk inputan kedua adalah *Delta Error* yang merupakan perubahan error yang didapat dari turunan pertama besaran error. Kedua inputan ini akan diproses oleh kendali fuzzy yang nantinya akan menghasilkan nilai outputan berupa Kecepatan Motor PWM.

Fungsi keanggotaan dari metode fuzzy masing-masing menggunakan representasi kurva segitiga dan trapesium dengan terbagi menjadi 3 himpunan fuzzy. Variabel masukan yang digunakan pada *Error* adalah eN, eZ, dan eP. Sedangkan pada *Delta Error* adalah deN, deZ, dan deP. Kemudian untuk variabel keluaran PWM yang digunakan adalah N, Z, dan P.

Rule Base

Menyusun basis aturan, yaitu aturan-aturan berupa implikasi-implikasi Fuzzy Logic Controller yang menyatakan relasi antara variabel input dengan variabel output menggunakan "IF THEN". Pada penelitian ini menggunakan metode Mamdani sehingga fungsi implikasi yang digunakan adalah min (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem Fuzzy Logic Controller yaitu Metode max (*maximum*). Pada metode ini, solusi himpunan Fuzzy Logic Controller diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah Fuzzy Logic Controller dan mengaplikasikannya ke *output* (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

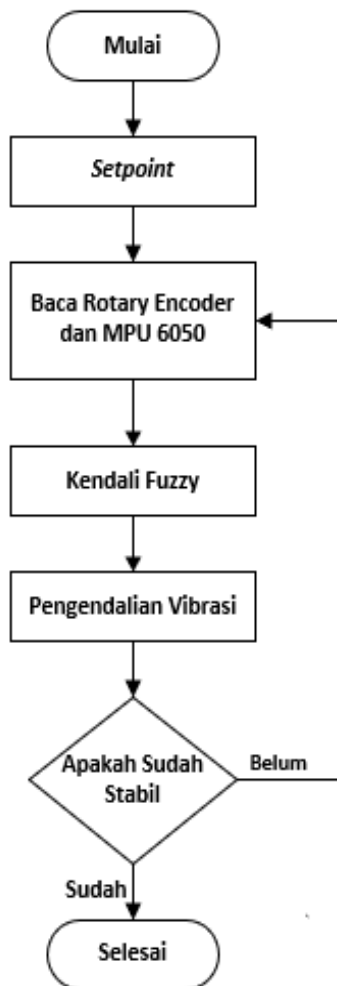
Defuzzifikasi

Masukan dari proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy, sedangkan keluaran yang dihasilkan berupa bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode Centroid, dimana pada

metode ini solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah Fuzzy Logic Controller (Kusumadewi dan Purnomo, 2010).

Rancang Bangun Software

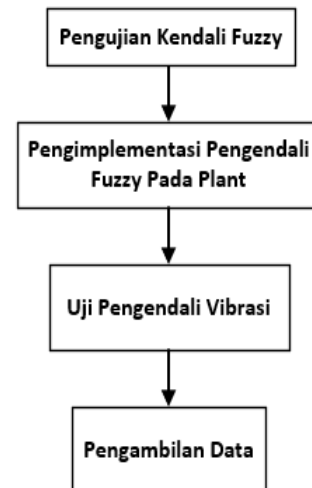
Pada rancang bangun *software* akan dibuat seperti diagram alir dengan menggunakan sebuah program yang menggunakan bahasa pemrograman C++ yang dibuat pada *software* Arduino IDE dan akan disinkronisasikan pada board Arduino Mega 2560 seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Rancang Bangun Software

Pengujian dan Pengambilan Data

Dalam pengujian akan melakukan dua tahap yaitu pengujian respon sistem tanpa pengendali atau kontroler dan kedua menggunakan pengendali atau kontroler. Sebelum melakukan kedua tahap ini, nantinya akan melakukan pengujian pengendali terlebih dahulu. Jika pengendali sudah sesuai dengan yang dibutuhkan *plant*, maka akan diimplementasikan ke *plant* dan kedua tahap tersebut dapat dilakukan. Diagram alir pengujian dan pengambilan data dapat ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Bagan Pengujian Pada *Plant*

Kemudian dalam pengambilan data, peneliti akan melakukan tiga kali pengambilan dengan menggunakan tiga nilai *setpoint* yang berbeda yaitu *setpoint* 90°, 180°, dan 270°. Untuk pengambilan data akan menggunakan *software* MATLAB untuk melakukan analisis terhadap respon pada *plant*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahapan ini peneliti akan melakukan pengujian dan pengambilan data yang meliputi permodelan indikasi sistem, permodelan pengendali fuzzy, pengujian dan menganalisa hasil respon sistem *plant* dengan menggunakan pengendali dan tanpa pengendali fuzzy.

Permodelan Indikasi Sistem

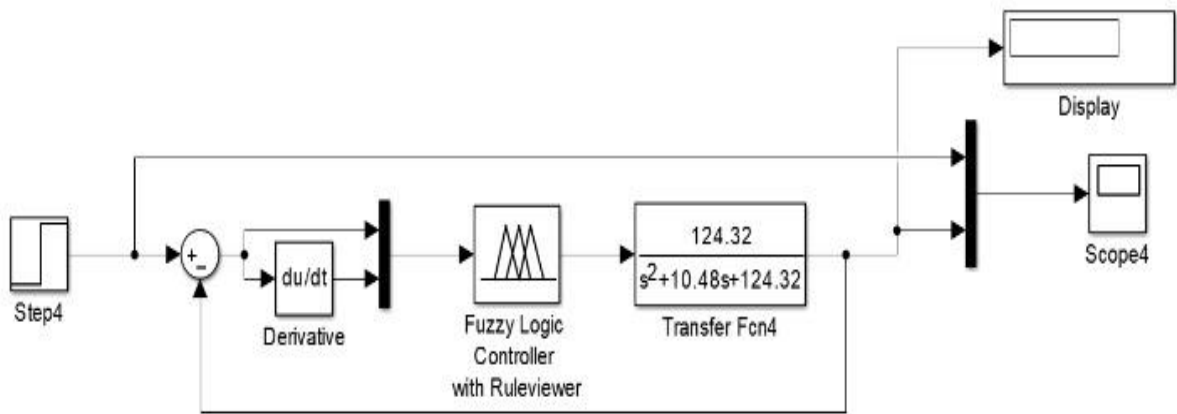
Dalam menentukan indikasi sistem pada *plant*, peneliti menggunakan pendekatan orde 2 dimana fungsi alih persamaan orde 2 ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

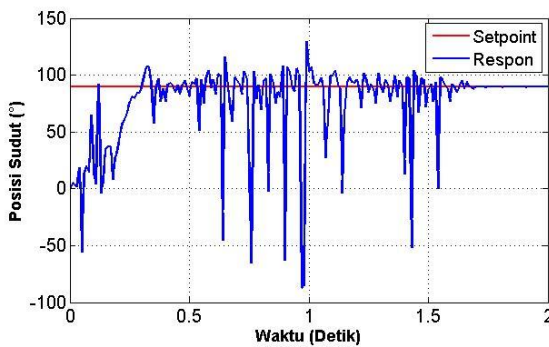
Keterangan :

- ω_n = frekuensi alami tak teredam
- τ = redaman
- ζ = rasio peredaman

Cara mengetahui indikasi sistem atau nilai fungsi alih pada *plant* adalah dengan menggunakan respon open loop yang terhubung pada *plant* (*real plant*). Respon yang digunakan peneliti dalam menentukan nilai fungsi alih berada pada *setpoint* 90°. Hasil respon *open loop* yang dilakukan pada *real plant* menggunakan *setpoint* 90° ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 7. Diagram Blok Permodelan Fuzzy



Gambar 6. Respon Open Loop Real Plant Menggunakan Setpoint 90°

Dari hasil respon tersebut dapat dilakukan pencarian nilai fungsi alih *plant* menggunakan metode pendekatan orde 2, dimana dapat dilakukan sebagai berikut (Nurma Orfa Dewi, 2019).

$$\omega_d = \frac{\pi}{t_p} = \frac{3.14}{0.32} = 9,81 \quad (2)$$

$$M_p = \frac{c(t_p) - c(ss)}{c(ss)} = \frac{107 - 90}{90} = 0,19 \quad (3)$$

$$\zeta = \frac{\ln(M_p)^2}{\ln(M_p)^2 + \pi^2} = \frac{\ln(0.19)^2}{\ln(0.19)^2 + 3.14^2} = 0,47 \quad (4)$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} = \frac{9.81}{\sqrt{1 - 0.47^2}} = 11,15 \quad (5)$$

Keterangan :

- ω_n = frekuensi alami tak teredam
- ω_d = frekuensi alami teredam
- M_p = puncak maksimum
- ss = steady state
- t_p = waktu menuju puncak
- ζ = rasio peredaman

Dengan melakukan perhitungan menggunakan pendekatan orde 2 didapatkan nilai fungsi alih sebagai berikut :

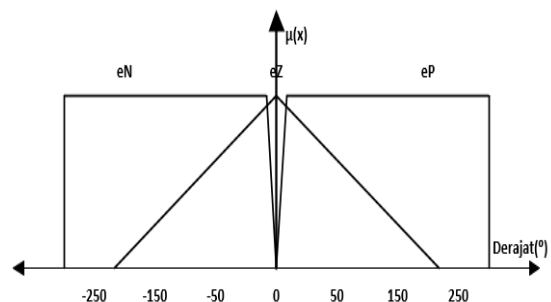
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{124,32}{s^2 + 10,48s + 124.32} \quad (6)$$

Permodelan Pengendali Fuzzy

Dalam merancang permodelan pengendali fuzzy, peneliti akan memasukkan nilai fungsi alih kedalam blok diagram sistem berupa simulink pada *software* Matlab2014a. Bentuk diagram blok untuk merancang permodelan pengendali fuzzy akan ditampilkan pada gambar 7.

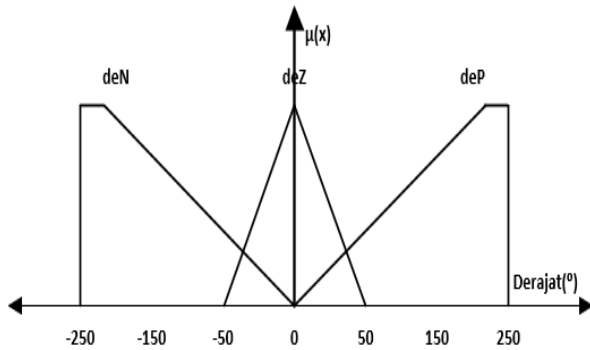
Perancangan pengendali fuzzy didasari oleh pemahaman dan pengenalan sistem dari *plant* yang digunakan. Sesuai dengan pada bagian perancangan, pengendalian ini dirancang dengan menggunakan dua masukan dan satu keluaran. Masukan pertama adalah *Error* dan untuk masukan kedua adalah *Delta Error*. Sedangkan untuk nilai keluaran berupa Kecepatan Motor PWM.

Variabel masukan yang digunakan pada *Error* adalah e_N , e_Z , dan e_P dengan rentang nilai semesta pembicaraan -270° hingga 270° . Hal ini dapat ditampilkan pada gambar 8.



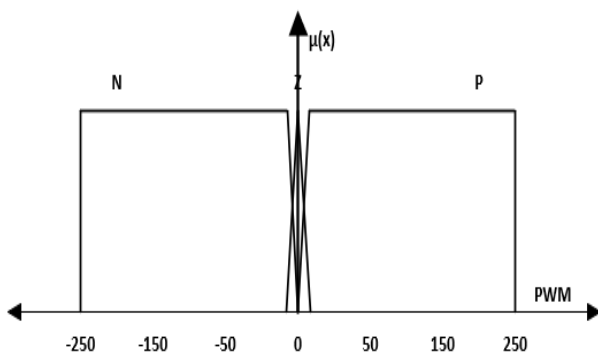
Gambar 8. Himpunan Error

Sedangkan pada *Delta Error* adalah deN , deZ , dan deP dengan rentang nilai semesta pembicaraan -250° hingga 250° . Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Himpunan Delta Error

Kemudian variabel output yang digunakan adalah N, Z, dan P dengan menggunakan semesta pembicaraan berupa nilai -250 hingga 250 . Hal ini ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Himpunan PWM

Ketiga variabel himpunan tersebut dapat dibuat suatu matrik *rule base IF – THEN* menggunakan metode implikasi MIN yang akan diintegrasikan menggunakan metode MAX. Matrik tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 4 berikut.

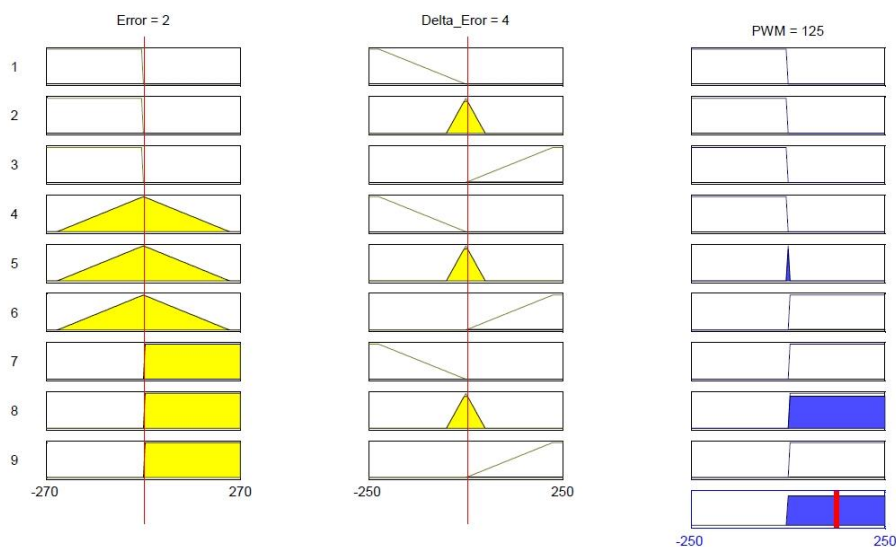
Tabel 4. Matrik Rule Base Fuzzy Pada *Plant*

e/de	eN	eZ	eP
deN	N	N	P
deZ	N	Z	P
deP	N	P	P

Setelah melakukan serangkaian proses pembentukan *rule base* komposisi aturan fuzzy tersebut akan memasuki ke tahap berikutnya dimana akan dilakukan menggunakan metode centroid. Metode centroid adalah proses yang terjadi ditahap defuzzifikasi. Penggunaan metode centroid akan mengambil titik pusat daerah fuzzy. Hal ini akan ditampilkan pada gambar 11 menggunakan *software* MATLAB 2014a. Sebagai contoh penerapan, nilai *input Error* dan *input Delta Error* yang digunakan adalah 2 dan 4 yang menghasilkan nilai keluaran *output PWM* sebesar 125.

Pengujian Hasil Respon *Plant*

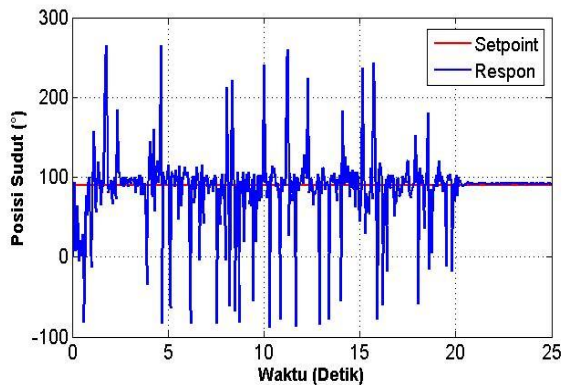
Pada tahap ini peneliti akan menguji hasil respon *plant* menggunakan pengendali fuzzy yang sudah dirancang sebelumnya dan akan membandingkan dengan hasil respon tanpa menggunakan pengendali fuzzy. Pengujian respon ini, peneliti menggunakan 3 nilai setpoint berbeda yaitu 90° , 180° , dan 270° .



Gambar 11. Proses Defuzzifikasi Menggunakan MATLAB 2014a

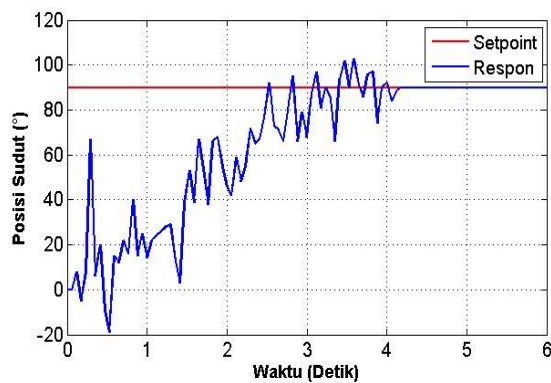
Pengujian Setpoint 90°

Bentuk respon sistem *plant* tanpa menggunakan kontroler atau pengendali ketika setpoint 90° akan ditampilkan pada gambar 12.



Gambar 12. Respon Sistem *Plant* Setpoint 90° Tanpa Kendali Fuzzy

Selanjutnya adalah bentuk respon sistem *plant* yang telah menggunakan kontroler atau pengendali dan akan ditampilkan pada gambar 13.



Gambar 13. Respon Sistem *Plant* Setpoint 90° Dengan Kendali Fuzzy

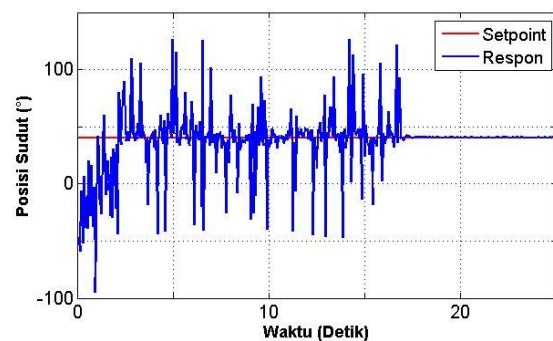
Dari hasil kedua respon sistem diatas dapat diketahui bahwa penggunaan pengendali pada sistem memiliki pengaruh yang sangat besar. Sistem yang tanpa menggunakan kendali fuzzy memiliki nilai vibrasi yang besar sehingga dapat mengakibatkan osilasi pada lengan robot atau *plant*. Berbeda dengan sistem yang menggunakan kendali fuzzy, dimana mampu meredam atau mengurangi vibrasi sehingga dapat memperkecil osilasi dan dapat lebih menstabilkan kinerja atau pergerakan pada *plant*. Perbandingan nilai kedua respon tersebut ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Analisa Perbandingan Respon Sistem Pada Setpoint 90°

Parameter	Tanpa Pengendali	Pengendali Fuzzy
M_p (Maksimum Peak/ Overshoot)	194 %	14 %
T_d (Waktu Tunda)	0,56 s	1,49 s
T_r (Waktu Naik)	0,87 s	3,39 s
T_p (Waktu Puncak)	0,9 s	4,7 s
T_s (Waktu Settling)	5%	32,6 s
	2%	34,4 s
	0,5%	36,2 s
		6,9 s

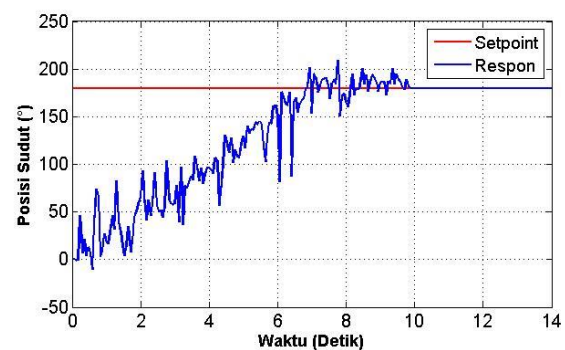
Pengujian Setpoint 180°

Bentuk respon sistem *plant* tanpa menggunakan kontroler atau pengendali ketika setpoint 180° akan ditampilkan pada gambar 14.



Gambar 14. Respon Sistem *Plant* Setpoint 180° Tanpa Kendali Fuzzy

Selanjutnya adalah bentuk respon sistem *plant* yang telah menggunakan kontroler atau pengendali dan akan ditampilkan pada gambar 15.



Gambar 15. Respon Sistem *Plant* Setpoint 180° Dengan Kendali Fuzzy

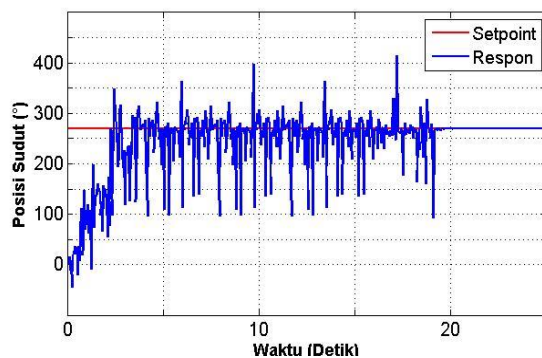
Dari hasil kedua respon sistem diatas dapat diketahui bahwa penggunaan pengendali pada sistem memiliki pengaruh yang sangat besar. Sistem yang tanpa menggunakan kendali fuzzy memiliki nilai vibrasi yang besar sehingga dapat mengakibatkan osilasi pada lengan robot atau *plant*. Berbeda dengan sistem yang menggunakan kendali fuzzy, dimana mampu meredam atau mengurangi vibrasi sehingga dapat memperkecil osilasi dan dapat lebih menstabilkan kinerja atau pergerakan pada *plant*. Perbandingan nilai kedua respon tersebut ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Analisa Perbandingan Respon Sistem Pada Setpoint 180°

Parameter	Tanpa Pengendali	Pengendali Fuzzy
M_p (Maksimum <i>Peak/Overshoot</i>)	96 %	16 %
T_d (Waktu Tunda)	1,66 s	3,54 s
T_r (Waktu Naik)	2,12 s	6,82 s
T_p (Waktu Puncak)	2,15 s	7,75 s
T_s (Waktu 5% Settling)	17,22 s	13,04 s
T_s (Waktu 2% Settling)	22,5 s	17,39 s
T_s (Waktu $0,5\%$ Settling)	26,87 s	21,74 s

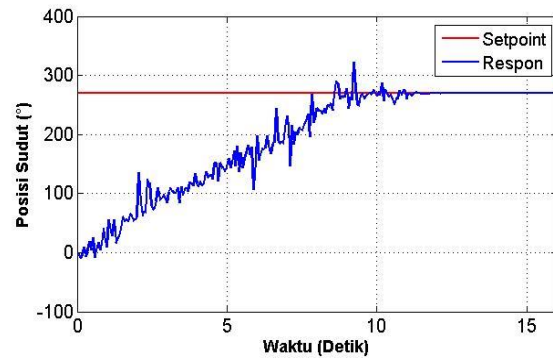
Pengujian Setpoint 270°

Bentuk respon sistem *plant* tanpa menggunakan kontroler atau pengendali ketika setpoint 270° akan ditampilkan pada gambar 16.



Gambar 16. Respon Sistem *Plant* Setpoint 270° Tanpa Kendali Fuzzy

Selanjutnya adalah bentuk respon sistem *plant* yang telah menggunakan kontroler atau pengendali dan akan ditampilkan pada gambar 17.



Gambar 17. Respon Sistem *Plant* Setpoint 270° Dengan Kendali Fuzzy

Dari hasil kedua respon sistem diatas dapat diketahui bahwa penggunaan pengendali pada sistem memiliki pengaruh yang sangat besar. Sistem yang tanpa menggunakan kendali fuzzy memiliki nilai vibrasi yang besar sehingga dapat mengakibatkan osilasi pada lengan robot atau *plant*. Berbeda dengan sistem yang menggunakan kendali fuzzy, dimana mampu meredam atau mengurangi vibrasi sehingga dapat memperkecil osilasi dan dapat lebih menstabilkan kinerja atau pergerakan pada *plant*. Perbandingan nilai kedua respon tersebut ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Analisa Perbandingan Respon Sistem Pada Setpoint 270°

Parameter	Tanpa Pengendali	Pengendali Fuzzy
M_p (Maksimum <i>Peak/Overshoot</i>)	53,7 %	19 %
T_d (Waktu Tunda)	2 s	4,27 s
T_r (Waktu Naik)	3,61 s	8,94 s
T_p (Waktu Puncak)	3,65 s	9,23 s
T_s (Waktu 5% Settling)	21,05 s	16,36 s
T_s (Waktu 2% Settling)	26,9 s	21,8 s
T_s (Waktu $0,5\%$ Settling)	31,2 s	27,3 s

PENUTUP

Simpulan

Sesuai dengan perancangan kendali fuzzy dalam pengendalian vibrasi pada *single link joint manipulator robot* dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Fuzzy yang dirancang oleh peneliti menggunakan aturan basis 3x3. Berdasarkan dengan penelitian menggunakan 3 setpoint yang berbeda dimana pengendali fuzzy menekan vibrasi yang dapat mengakibatkan osilasi sehingga mampu menstabilkan pergerakan pada *plant*.

Namun jika dirujuk pada tabel 8 hingga tabel 10 dapat diketahui bahwa meskipun kendali fuzzy mampu

meredam dan dapat mengurangi osilasi, respon sistem tanpa menggunakan pengendali memiliki waktu respon yang begitu cepat jika dibandingkan dengan menggunakan pengendali. Kecepatan waktu respon inilah memiliki dampak osilasi yang begitu besar sehingga dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem untuk dapat mencapai titik akhir. Tanpa menggunakan pengendali untuk dapat mencapai titik akhir atau posisi diam akan memerlukan waktu yang relatif lebih lama.

Hal ini dibuktikan pengendali fuzzy mampu meredam nilai M_p (*Maksimum Peak/ Overshoot*) menjadi 14 % dari 194 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 4,14 s ketika setpoint 90°, menjadi 16 % dari 96 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 13,04 s ketika setpoint 180°, dan menjadi 19 % dari 53,7 % dan mampu mencapai titik akhir pada waktu 16,36 s ketika setpoint 270°.

Saran

Sebagai pendukung penelitian selanjutnya dianjurkan untuk menyempurnakan bentuk hardware dari *plant* ini sehingga dapat mempermudah dalam pencarian nilai fungsi alih. *Plant* ini bisa dikembangkan lagi dengan menggunakan sistem *tracking control* jarak jauh dan diharapkan menggunakan metode pengendalian lain yang dapat mengurangi vibrasi dengan waktu respon yang lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzani, Wahyu Raka dan M Syariffuddien Zuhrie. 2019. Perancangan Kontroler PID Tyreus-Luyben Untuk Kendali Vibrasi Pada Robot *Single Link Flexible Joint Manipulator*. Jurnal Teknik Elektro. Vol 8:3, 523 -530.
- Akyuz, Ismail H. dkk. 2012. *Cascade fuzzy logic control of a single link flexible joint manipulator*. Department of Mechatronics Engineering Kocaeli University, Kocaeli, TURKEY. Vol 20:5.
- Dewi, Nurma Orfa dan Puput Wanarti Rusimamto, 2019. Perancangan Sistem Keseimbangan *Ball and Beam* Menggunakan Perangkat Lunak LABVIEW Berbasis Fuzzy Logic Controller. Jurnal Teknik Elektro. Vol 8:2, 249-257.
- Kasiram, Moh. 2008. "Metodologi Penelitian". Malang: UIN Malang.
- Kurniasih, Nurafni Retno. 2015. Metodologi Penelitian Pendidikan.
- Kusumadewi, Sri, dan Hari Purnomo. 2010. Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lutfianam, Yosin Alfa Syahroni dan M Syariffuddien Zuhrie. 2018. Rancang Bangun Pengendalian

Vibrasi Pada *Single Link Flexible Joint Manipulator Robot* Berbasis *Pid Controller*. Jurnal Teknik Elektro. Vol 7:3, 183-190.

Rafiuddin, Syam. 2015. *Seri Buku Ajar Robotika: Kinematika dan Dinamika Robot Lengan*. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yulianto, Andik; Edy Ramadan. 2014. Sistem Kendali Robot Manipulator Pemindah Barang Dengan Umpan Balik Visual. Jurnal Ilmiah Mikrotek. Vol 1:2.

