

## **Pengaturan *Mass-Spring-Damper* menggunakan Kontroler PI dan Fuzzy**

**Krisna Warih Bintang Pamungkas<sup>\*1</sup>, Bayu Fandidarma<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Universitas PGRI Madiun, Indonesia, Fakultas Teknik, Prodi Teknik Elektro

e-mail: <sup>\*1</sup>compaq260616@gmail.com, <sup>2</sup>bayuf@unipma.ac.id

### **Abstrak**

*Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengajarkan kepada mahasiswa supaya dapat melakukan pengaturan pada suatu sistem mass-spring-damper (MSD) nonlinier dengan cara yang lebih mudah yaitu menggunakan metode linierisasi pada sistem tersebut. Sistem MSD yang telah dilinierisasi untuk selanjutnya akan disimulasikan pada Simulink MatLab dengan menggunakan kontroler PI dan Fuzzy untuk mengatur posisi benda m pada sistem supaya sesuai dengan set-point yang diinginkan. Pengujian dilakukan berdasarkan dua kontroler yang dipakai. Selanjutnya kedua hasil pengujian dibandingkan dan dianalisa. Kontroler PI berhasil menghasilkan respon yang lebih baik dibandingkan respon dari kontroler Fuzzy. Hal ini dikarenakan kontroler PI yang cocok dipakai pada sistem yang simpel dan linier. Sedangkan kontroler Fuzzy lebih cocok untuk sistem yang lebih kompleks dan nonlinier.*

**Kata kunci** — fuzzy, kontroler PI, linier, mamdani, mass-spring-damper

### **Abstract**

*This research was conducted with the aim of teaching students to do some control for a nonlinear mass-spring-damper (MSD) system in an easier way, namely by using the linearization method for the system. The linearized MSD system will then be simulated on the MatLab Simulink using PI and Fuzzy controllers to adjust the position of object m in the system so that it matches the desired set-point. The experiment is carried out based on the two controllers used. Furthermore, the two test results are compared and analyzed. PI controller managed to produce a better response than the response from the Fuzzy controller. This is because the PI controller is suitable for use in simple and linear systems. Meanwhile, Fuzzy controllers are more suitable for more complex and nonlinear systems.*

**Keywords** — fuzzy, linear, mamdani, mass-spring-damper, PI controller

## **I. PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi *Mass-Spring-Damper* (MSD) sangat berguna untuk berbagai macam lini kehidupan dan industri. Salah satu lini industri yang menggunakan teknologi MSD ini adalah lini mesin beroda (sepeda motor, mobil, bus, truk dan lain sebagainya). Karenanya perlu dilakukan penelitian yang fokus dan merata pada teknologi MSD tersebut. Alangkah baiknya jika penelitian tersebut sudah mulai dapat diteliti mahasiswa yang notabene-nya belum pernah menulis buku. Sehingga perlu diturunkan sampai level mahasiswa dan dalam bentuk linier.

Sistem MSD nonlinier yang dikontrol menggunakan *springed-piston* sudah diteliti dengan menggunakan kontroler LQR dan Fuzzy-Mamdani [1]. Jadi sistem MSD memiliki *spring* dengan sifat *hardened* sehingga sistem MSD menjadi nonlinier. Lalu untuk keluaran kendalinya diberikan pada *springed-piston*.

Penelitian selanjutnya berupa pengaturan posisi dari sistem MSD yang *coupled* menggunakan Simulink dan Simelectronics [2]; pengaturan sistem MSD menggunakan kontroler adaptif PI [3]; perbandingan analisa pemakaian kontroler P, PI, PD dan PID pada sistem MSD menggunakan MatLab Simulink [4]; desain pengaturan sistem MSD berdasarkan skema kendali *backstepping* [5]; dan penggunaan kontroler PI pada alat Pasteurisasi [6] menjadi acuan penggunaan kontroler PI pada penelitian kali ini.

Sistem MSD dari penelitian [1] diambil untuk dilinierisasikan supaya lebih mudah untuk dilakukan simulasi dengan menggunakan kontroler PI dan Fuzzy-Mamdani pada Simulink MatLab. Hasil respon keduanya akan dibandingkan dan dianalisa untuk menentukan kontroler terbaik.

Artikel ini disusun berdasarkan urutan sebagai berikut. Metode Penelitian dijelaskan pada bab 2. Hasil dan Pembahasan dipresentasikan pada bab 3. Bab 4 berisikan Kesimpulan akhir dari penelitian yang telah dilaksanakan.

## II. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini, metode penelitian dijabarkan berdasarkan dasar teori dan fungsi yang diinginkan untuk merumuskan hasil penelitian dan selanjutnya dianalisa untuk diambil kesimpulannya.

### Pemodelan Sistem *Linearized-Mass-Spring-Damper*

Pada bagian ini, metode penelitian dijabarkan berdasarkan dasar teori dan fungsi yang diinginkan untuk merumuskan hasil penelitian dan selanjutnya dianalisa untuk diambil kesimpulannya.

Sistem *Mass-Spring-Damper* (MSD) yang dipergunakan dalam penelitian kali ini mengacu pada sistem MSD Nonlinier yang dikontrol oleh *Springed-Piston* [1]. Sistem ini akan dilinierisasikan (*Linearized*) dengan asumsi bahwa pegas yang dipakai adalah pegas linier sehingga konstanta *hardening*  $\alpha$  adalah nol, maka persamaan dinamika sistem berubah menjadi sebagai berikut

$$ky + \beta v + u = ma \tag{1}$$

$$ky + \beta \dot{y} + u = m\ddot{y} \tag{2}$$

$$m\ddot{y} - \beta \dot{y} - ky = u \tag{3}$$

Selanjutnya melakukan penyusunan bentuk *state-space* sistem untuk melakukan simulasi di MatLab. Jika  $x_1 = y$  dan  $x_2 = \dot{y}$ , maka

$$\dot{x}_1 = \dot{y} = x_2 \tag{4}$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{y} = \frac{k}{m} y + \frac{\beta}{m} \dot{y} + \frac{1}{m} u = \frac{k}{m} x_1 + \frac{\beta}{m} x_2 + \frac{1}{m} u \tag{5}$$

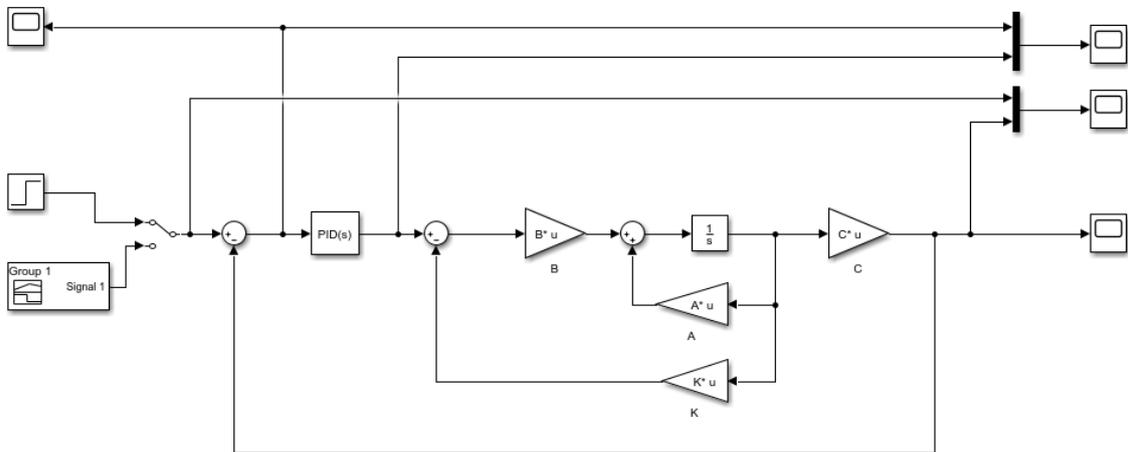
$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{m} & \frac{\beta}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{k}{m} & \frac{\beta}{m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix} u \quad (7)$$

$$z = [1 \ 0] \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \end{bmatrix} \quad (8)$$

**Kontroler Proportional-Integral (PI)**

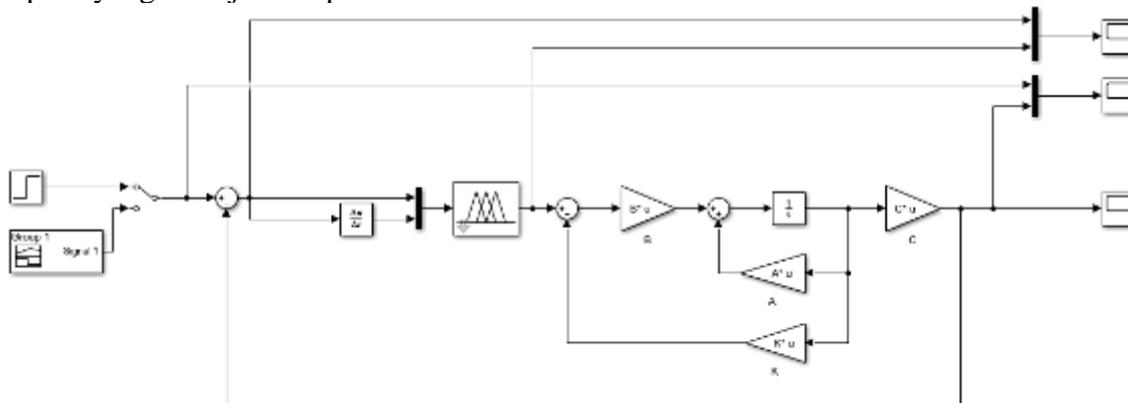
Kontroler *Proportional-Integral* (PI) adalah kontroler mekanisme umpan balik dengan menghitung secara *proportional* (P) dan *integral* (I) respon suatu sistem dengan tujuan untuk mengatur sistem supaya memenuhi suatu tujuan tertentu. Dalam sistem MSD ini menggunakan kontroler PI untuk mengatur posisi benda *m* supaya sesuai dengan *set-point* yang diinginkan. Dari persamaan (7) dan (8) dibangunlah model untuk melakukan simulasi menggunakan kontroler PI pada MatLab/Simulink seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Model Sistem MSD menggunakan kontroler PI

**Kontroler Fuzzy-Mamdani**

Kontroler Fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini adalah kontroler fuzzy tipe *mamdani*. Kontroler ini akan digunakan untuk mengatur posisi benda *m* sesuai dengan *set-point* yang sudah ditentukan. Dari persamaan (7) dan (8) dibangunlah model untuk melakukan simulasi menggunakan kontroler fuzzy-mamdani pada MatLab/Simulink seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Model Sistem MSD menggunakan kontroler Fuzzy-Mamdani

Menyusun rule fuzzy untuk keperluan pengaturan fuzzy berikutnya sesuai dengan Tabel 1. Rule fuzzy menggunakan dua masukan yaitu input error dan input perror dan satu keluaran berupa input kontrol pada Piston. Variabel masukan yang dipakai adalah error = referensi ( $y_r$ ) – posisi aktual ( $y$ ) dan perror = derivative error terhadap waktu ( $\frac{d(y_r - y)}{dt}$ ).

**Tabel 1 Rule Fuzzy Mamdani**

Output ( $u$ )		Error ( $y_r - y$ )		
		N	Z	P
Perror ( $\frac{d(y_r - y)}{dt}$ )	N	N	Z	N
	Z	N	Z	P
	P	P	Z	P

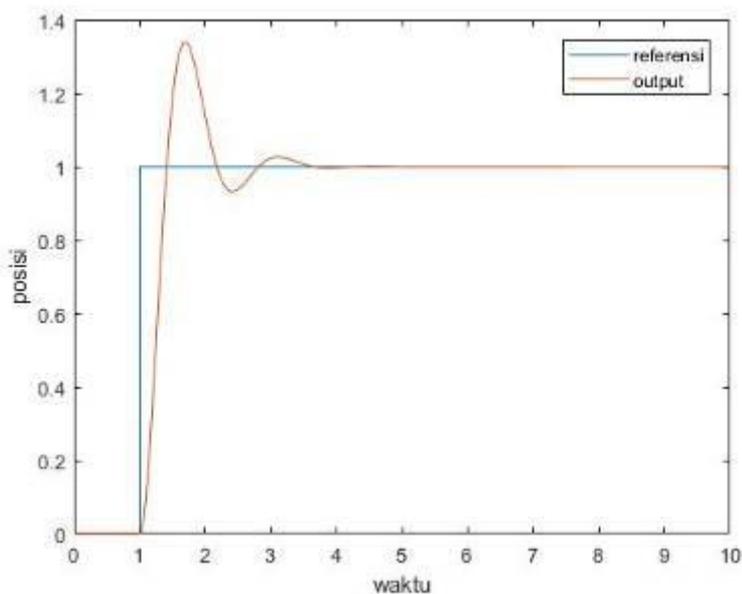
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi pada MatLab menggunakan parameter-parameter berikut ini: konstanta spring  $k = 5 \text{ kg/s}^2$ ; konstanta damper  $\beta = 0.1 \text{ kg/s}$  dan massa benda  $m = 20 \text{ kg}$ . Selanjutnya parameter-parameter tersebut dimasukkan pada bentuk *state-space* sistem (7) dan (8) sehingga menjadi seperti di bawah ini.

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.25 & 0.005 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.05 \end{bmatrix} u \tag{9}$$

$$z = [1 \ 0] \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \end{bmatrix} \tag{10}$$

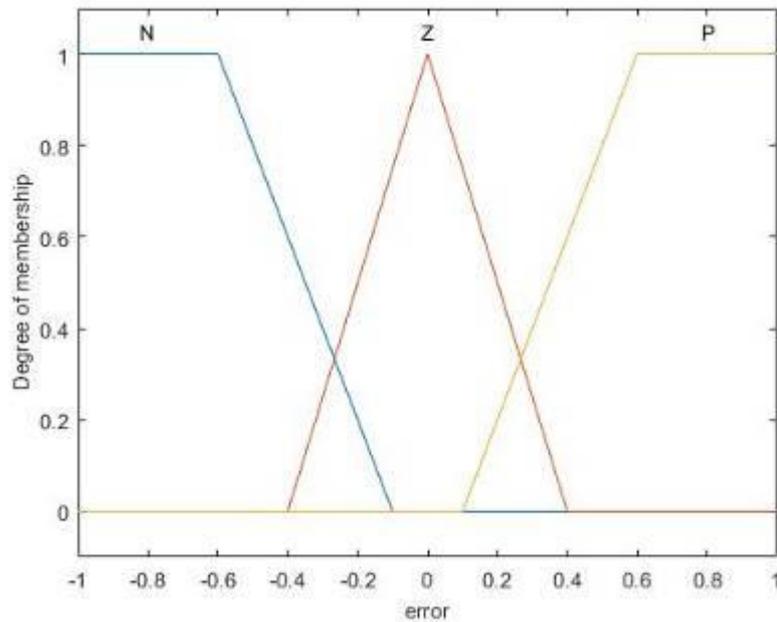
Dengan menentukan *set-point* adalah +1 meter, posisi awal benda  $m$  adalah 0 meter dan tujuan pengaturan adalah untuk benda  $m$  dapat berpindah posisinya sesuai dengan *set-point*. Maka simulasi dilakukan pada MatLab/Simulink sesuai dengan kontroler dan parameter yang dipakai.



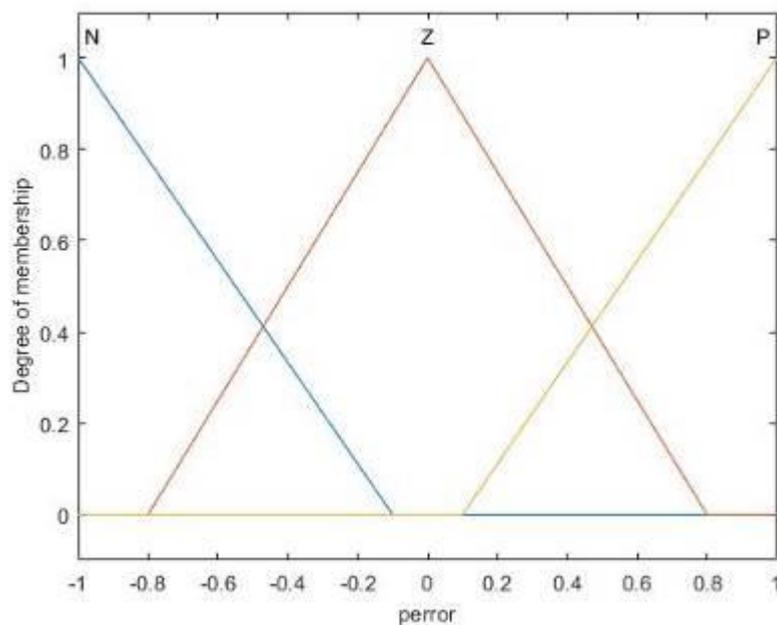
**Gambar 3 Respon sistem MSD dengan kontroler PI**

Simulasi respon sistem MSD dengan kontroler PI yang ditunjukkan pada Gambar 3 dilaksanakan dengan menggunakan parameter gain  $K = [10.0990 \ 20.2239]$ , konstanta  $P = 170.69$  dan konstanta  $I = 52.62$ .

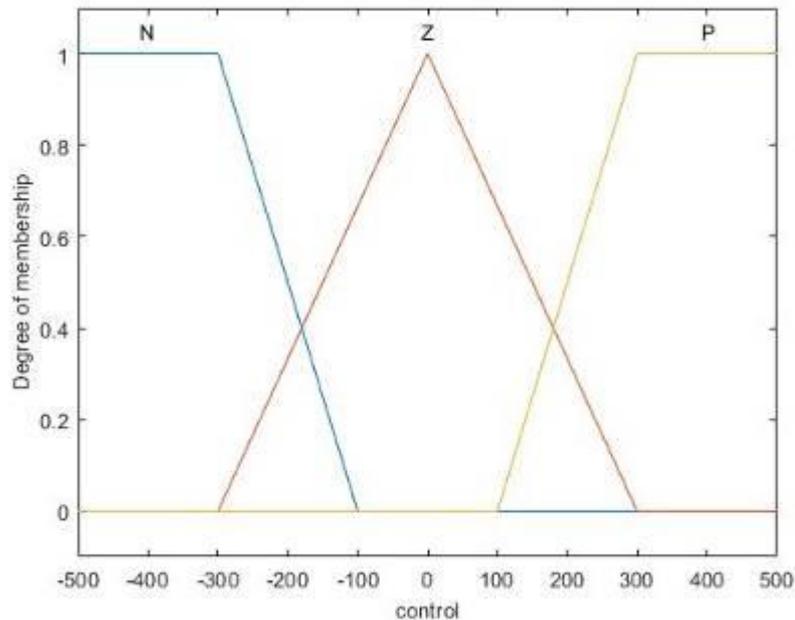
Simulasi respon sistem MSD dengan kontroler Fuzzy-Mamdani yang ditunjukkan pada Gambar 5 dilaksanakan dengan menggunakan parameter fungsi keanggotaan pada dua masukan dan satu keluaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.a-c.



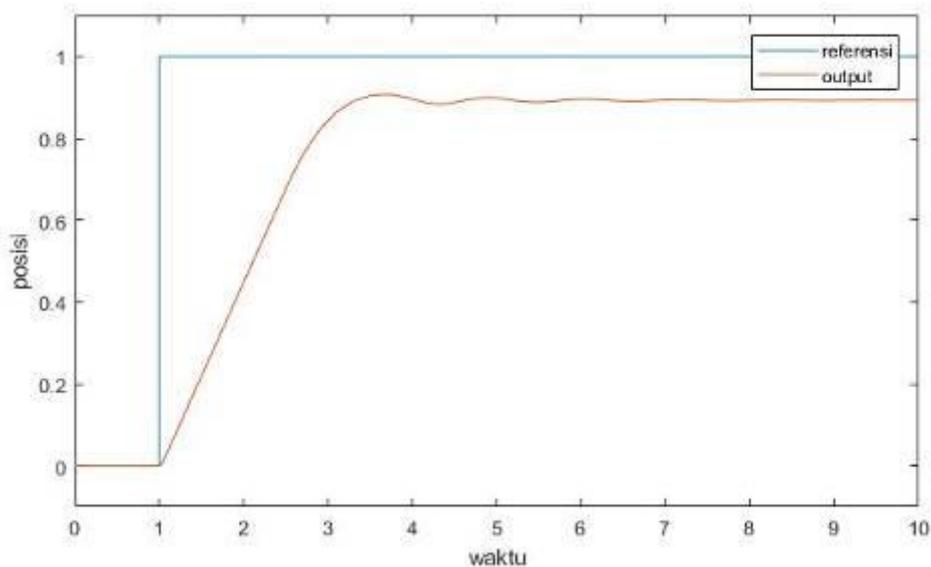
**Gambar 4.a Fungsi Keanggotaan input error**



**Gambar 4.b Fungsi Keanggotaan input perror**



Gambar 4.c Fungsi Keanggotaan output u



Gambar 5 Respon Sistem MSD dengan kontroler Fuzzy

Simulasi untuk kedua kontroler telah dilaksanakan. Terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil respon antara keduanya. Hal ini menandakan adanya perbedaan kualitas dari penyusunan kontroler dan pemilihan parameter serta variabel yang digunakan. Kontroler PI menghasilkan respon posisi benda  $m$  yang berhasil bergerak menuju posisi yang sesuai dengan *set-point*. Walaupun sedikit overshoot, tapi hal ini tidak berlangsung lama lalu posisi benda  $m$  berangsur menuju *set-point*. Kontroler Fuzzy-Mamdani menghasilkan respon posisi benda  $m$  yang cukup baik hanya saja posisi benda  $m$  tidak sampai pada *set-point* yang diinginkan dan berisolasi setelahnya.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah penelitian diuji dan dibahas, maka dapat ditarik kesimpulan yang diantaranya:

- a. Hasil respon pada sistem MSD menggunakan kontroler PI sudah menunjukkan keberhasilan karena posisi benda  $m$  sudah bergerak sesuai dengan set-point yang ditentukan. Walaupun sempat overshoot, tapi posisi benda  $m$  kembali ke *set-point*.
- b. Hasil respon pada sistem MSD menggunakan kontroler Fuzzy belum menunjukkan keberhasilan karena posisi benda  $m$  sudah bergerak tapi masih jauh dari set-point yang ditentukan dan berisolasi pada posisi itu sampai simulasi berhenti.
- c. Kontroler PI dapat menghasilkan respon yang lebih baik (sesuai dengan *set-point*) dari kontroler Fuzzy karena kontroler PI mudah disusun dan penataan parameter dan variabelnya lebih simpel dan ringkas daripada kontroler Fuzzy.
- d. Kontroler Fuzzy adalah kontroler yang lebih kompleks dan perlu menata banyak parameter dan variabel untuk mengatur suatu sistem. Keunggulan dari kontroler Fuzzy ini akan terlihat jika sistem yang dikendalikan semakin rumit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Fandidarma, C. Sari, and M.Y. Anshori, "Sistem *regulator mass-spring-damper* nonlinier yang dikontrol oleh *springed-piston* menggunakan LQR dan FLC-Mamdani," in 2<sup>nd</sup> Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi (SENATIK), Madiun, 2019.
- [2] A.A. Okubanjo, O.K. Oyetola, and O.O. Olaluwoye, "Simulink and simelectronics based position control of a coupled mass-spring damper mechanical system," in International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 8, no. 5, pp. 3636-3646, October 2018.
- [3] S. Coman, and Cr. Boldisor, "Adaptive PI controller design to control a mass – damper – spring process," in Bulletin of the Transilvania University of Brasov, vol. 7 (56), no. 2, 2014.
- [4] K. Ravindra, K. Yogesh, and G. Ankit, "Comparative analysis of P, PI, PD, PID controller for mass spring damper system using matlab simulink," in International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM), Special Issue – ICRTET-2018, 2018.
- [5] M.F. Badr, E.H. Karam, and N.M. Mjeed, "Control design of damper mass spring system based on backstepping controller scheme," in International Review of Applied Sciences and Engineering, Juli 2020.
- [6] C. Sari, I.T. Yuniastuti, and A. Putra, "Aplikasi kontroler PI modifikasi pada *prototype* alat pasteurisasi menggunakan *simple water heater*," in Jurnal ELEMENTER, vol. 6, no. 1, Mei 2020.