

Penerapan Anti-Swing pada Sistem *Gantry Crane* dengan Pengendali PID-Fuzzy Logic Berbasis Matlab

Syihan Dwilaksono¹, Endryansyah², Puput Wanarti Rusimanto³, I Gusti Putu Asto⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, 60231, Indonesia
(syihan.17050874053@mhs.unesa.ac.id)

(^{2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya)
(endryansyah@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id)

Abstrak

Pemindahan suatu beban dari satu tempat ke tempat yang dituju merupakan sebuah aktivitas yang sering terjadi pada industri ataupun pelabuhan. Diperlukan sebuah alat berat yang mampu menunjang kegiatan berbahaya dengan resiko kecelakaan yang kecil. Pada permasalahan tersebut digunakan sebuah alat berat yaitu *Gantry Crane*. Sebuah alat berat yang mampu memindahkan beban dengan dikaitkan pada rantai ataupun ruber. *Gantry Crane* merupakan permasalahan ketidakstabilan dalam sistem pengaturan, dikarenakan sebuah sistem yang bergerak, nonlinear, dan sangat tidak stabil. Sistem ini memiliki satu masukan yaitu gaya dan dua keluaran yaitu sudut bandul atau beban dan posisi trolley sehingga prosesnya sangat rumit saat dikendalikan. Diperlukan software LabVIEW 2020 untuk menyelesaikan fungsi alih pada sistem. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir simpangan ayunan yang berlebihan, mempercepat nilai settling time dan mencari error steady state yang kecil. Pada perancangan pengendali sistem ini menggunakan PID dan Fuzzy yang dirancang pada software MATLAB 2016b. Pengendali PID mendapatkan nilai $K_p(x)$ 116.014, $K_i(x)$ 101.8137, $K_d(x)$ 79.4768 dan pengendali Fuzzy memiliki 3 fungsi dengan 9 rulebase. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan nilai Overshoot Maksimum(x)(Mp(x)) sebesar 4.981%, Time peak(x)(tp(x)) sebesar 0,790/s, Rise time(x)(tr(x)) sebesar 0,025/s, Settling time(x)(ts(x)) sebesar 3.737/s, dan untuk nilai error-steady-state(x)(Ess(x)) sebesar 0.006% dan nilai Overshoot Maksimum(θ)(Mp(θ)) sebesar 53.077%, Time peak(θ)(tp(θ)) sebesar 0,0487/s, Rise time(θ)(tr(θ)) sebesar 0,044/s, Settling time(θ)(ts(θ)) sebesar 15,679/s.

Kata Kunci: *Gantry Crane*, LabVIEW 2020, MATLAB 2016b, Pengendali Fuzzy, Pengendali PID.

Abstract

The transfer of a load from one place to the destination is an activity that often occurs in industries or port. A heavy equipment is needed that is able to support dangerous activities with a small risk of accidents. In this problem, a heavy equipment is used that a *Gantry Crane*. A heavy equipment that is able to move loads by being attached to chain or rubber. *Gantry Crane* is a problem of instability in the control system, due to a system that is movable, nonlinear, and very unstable. This system has one input, it is the force and two outputs, it is the angle of the pendulum or the load and the position of the trolley so that the process is very complicated when controlled. LabVIEW 2020 software is required to complete the transfer function on the system. This study aims to minimize excessive swing deviation, accelerate the settling time value and look for a small steady state error. In designing this system controller using PID and Fuzzy which is designed on MATLAB 2016b software. The PID controller gets a $K_p(x)$ 116.014, $K_i(x)$ 101.8137, $K_d(x)$ 79.4768 and the Fuzzy controller has 3 functions with 9 rulebases. The results of the research were carried out towards a Maximum Overshoot(x)(Mp(x)) of 4.981%, Time peak(x)(tp(x)) of 0,790/s, Rise time(x)(tr(x)) of 0,025/s, Settling time(x)(ts(x)) of 3.737/s, and the value error-steady-state(x)(Ess(x)) of 0.006% and value Maximum Overshoot(θ)(Mp(θ)) of 53.077%, time peak(θ)(tp(θ)) of 0,048/s, Rise time(θ)(tr(θ)) of 0,044/s, Settling time(θ)(ts(θ)) of 15,679/s.

Keyword: *Gantry Crane*, LabVIEW 2020, MATLAB 2016b, Fuzzy controller, PID controller.

I. PENDAHULUAN

Gantry Crane merupakan suatu alat berat khusus yang dilengkapi dengan rantai ataupun tali *rubber*, di desain untuk *loading-unloading* beban dan bahan berbahaya di industri maupun di pelabuhan kontainer (Farag, dkk., 2016). Pada umumnya memiliki sistem yang ditopang oleh sebuah tiang penyangga sebagai lintasan *trolley*. Pada setiap sisi *trolley* terdapat roda kecil untuk memindahkan pada setiap bloknya (Abdurahman, dkk., 2016).

Perubahan kecepatan perpindahan *trolley* ketika *Gantry crane* beroperasi untuk memindahkan beban, maka beban akan terayun dengan sudut ayunan tertentu. Dengan tuntutan waktu pemindahan yang cepat, maka akan mengakibatkan sudut ayunan yang sangat besar. Ayunan yang terjadi akan sangat membahayakan di lingkungan sekitarnya (Rahmawati, dkk., 2017). Gaya inersia yang ditimbulkan oleh percepatan dan perlambatan *trolley* membuat *gantry crane* rentan terhadap gangguan luar dari plant.

Pemodelan teknik *open-loop* dan teknik *close-loop* ini sangat diperlukan untuk memperhitungkan faktor gangguan dari luar (Abdel-rahman et al., 2003). Sedangkan menurut Bahri & Permana (2017) menjelaskan bahwa pendekatan yang dilakukan untuk meminimalisir ayunan terdapat beberapa metode anatara lain, teknik pertama pembangkitan trayektori untuk memindahkan beban ke titik tujuan dengan minimum ayunan, teknik kedua didasarkan pada umpan balik posisi dan umpan balik sudut ayunan, dan teknik ketiga didasarkan pada pembagian problem desain pengendali, yaitu pengendali anti - *swing* dan pengendali *tracking*.

Ada beberapa pemodelan metode yang telah dicobah oleh kalangan peneliti. Yang pertama dilakukan oleh Pratama (2015) dengan pendekatan *linear* menggunakan controller PLC sebagai pengendalian pengoperasian motor DC dan sensor limit switch, dengan input push button sebagai saklar untuk menggerakkan *trolley* pengangkut beban dan menggerakkan katrol untuk menaikkan atau menurunkan beban. Kemudian yang kedua dilakukan oleh Bahri & Permana (2017) dengan mendapatkan hasil simpangan

ayunan 15° , *satling time* 10,92 detik dan *error* 0% pada jarak percobaan 100cm, diperlukan 2 pengendali fuzzy yang bekerja secara paralel pada model matematis crane. Kemudian yang ketiga dilakukan oleh Iffah, dkk. (2019) dengan menggunakan pengendali PID dan PD dengan metode *PSO Algorithm* mendapatkan nilai sistem posisi dengan *overshoot* 9,341% ,*satling time* 5,740 detik, *error* 0% dan pada sistem ayunan simpangan dengan simpangan ayunan $0,1938^\circ$, *satling time* 7,708 detik pada jarak 1 cm.

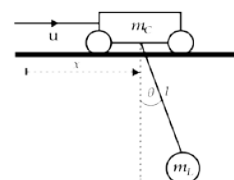
Dengan penelitian diatas maka penulis bertujuan untuk mendesain pengendali proposional-integral-derivatif (PID) dan pengendali logika *fuzzy* untuk sistem anti-swing pada prototipe *gantry crane*. Serta response keluaran yang dihasilkan akan dikeluarkan dengan software Simulink Matlab 2016b.

Perancangan pengendali menggunakan skema *close-loop* paralel dengan pengendali PID dan Logika *Fuzzy*. Perancangan ini diharapkan mendapatkan Simpangan ayunan dan *error steady state* yang kecil serta mendapatkan *satling time* mencapai posisi dengan cepat.

II. TEORI

A. Dinamika Sistem Gantry Crane

Prototipe *gantry crane* lebih di teliti pada kesetimbangan gerakan ayunan bandul dan penolakan gangguan, baik yang muncul dari dinamika struktur mekanik maupun friksi yang timbul dari komponen-komponen bergerak. Selain itu ayunan menjadi parameter gangguan yang harus dipertimbangkan, dikarenakan gangguan ini menimbulkan frekuensi dan amplitude tertentu yang kesetimbangannya dan performa sistem terganggu.



Gambar 1. Model Gantry Crane
(Sumber: Bahri & Permana., 2017)

Pada Gambar 1 menjelaskan model *gantry crane* dengan m_c adalah *trolley* sebagai massa

yang akan berpindah ke arah x , gaya yang ditimbulkan dianotasikan sebagai u , sedangkan usaha sangat mempengaruhi massa dan gravitasi. Parameter dari massa beban adalah m_L , panjang tali crane adalah ℓ , dan sudut antara crane dengan sudut vertikal adalah θ .

Dari sistem diatas maka dapat dimodelkan berdasarkan hukum newton kedua yaitu

$$\Sigma F = m \cdot a(1)$$

Dalam hukum newton kedua dan aturan trigonometri dapat digunakan dalam model matematis mencari massa *trolley* dan masa bandul dengan gerakan horizontal dan vertikal.

$$u + F \sin \theta = m_c \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}(2)$$

Pada persamaan (2) merupakan gerakan *trolley* ke arah horizontal.

$$F \cos \theta + m_c g = 0 \quad (3)$$

Pada persamaan (3) merupakan gerakan *trolley* ke arah vertikal.

$$-F \sin \theta = m_L \frac{d^2(x + \ell \sin \theta)}{dt^2} \quad (4)$$

Pada persamaan (4) merupakan gerakan bandul ke arah horizontal.

$$-F \cos \theta + m_L g = m_L \frac{d^2(\ell \cos \theta)}{dt^2}(5)$$

Pada persamaan (5) merupakan gerakan bandul ke arah vertikal.

Guna untuk mencari kesetimbangan bandul arah x maka persamaan (2) dan (4) disubstitusikan, maka di dapatkan

$$m_c \frac{d^2 x}{dt^2} = u - m_L \frac{d^2(x + \ell \sin \theta)}{dt^2}$$

atau,

$$m_c \frac{d^2 x}{dt^2} + m_L \frac{d^2(x + \ell \sin \theta)}{dt^2} = u \quad (6)$$

kemudian dengan kesetimbangan bandul arah horizontal dan vertikal maka persamaan (4) dan (5) disubstitusikan, maka di dapatkan

$$m_L \frac{d^2(\ell \cos \theta)}{dt^2} = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} m_L \frac{d^2(x + \ell \sin \theta)}{dt^2} + m_L g$$

atau,

$$m_L \frac{d^2(\ell \cos \theta)}{dt^2} \sin \theta$$

$$-m_L \frac{d^2(x + \ell \sin \theta)}{dt^2} \cos \theta = m_L g \sin \theta \quad (7)$$

Penyederhanaan persamaan (6) dengan turunan ke 2, maka di dapatkan

$$(m_c + m_L)\ddot{x} + m_L \ell \ddot{\theta} \cos \theta - m_L \ell \dot{\theta}^2 \sin \theta = u \quad (8)$$

Penyederhanaan persamaan (7) dengan turunan ke 2, maka di dapatkan

$$m_L \ddot{x} \cos \theta + m_L \ell \ddot{\theta} = -g \sin \theta \quad (9)$$

Persamaan (8) dan (9) merupakan persamaan model matematis gerak dinamik dari sistem *gantry crane*. Dalam bentuk matriks persamaan tersebut dapat di dapatkan

$$\begin{bmatrix} m_L + m_c & m_L \ell \cos \theta \\ m_L \cos \theta & m_L \ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_L \ell \dot{\theta}^2 \sin \theta + u \\ -m_L g \sin \theta \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} m_L + m_c & -m_L \ell \cos \theta \\ -m_L \cos \theta & m_L \ell \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_L \ell \dot{\theta}^2 \sin \theta + u \\ -m_L g \sin \theta \end{bmatrix}$$

dengan $\Delta = (m_L + m_c) m_L \ell - m_L \cos \theta (m_L \ell \cos \theta)$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u + m_L \sin \theta (m_L \ell \dot{\theta}^2 + g \cos \theta)}{(m_c + m_L) - m_L \sin^2 \theta} \\ -\frac{u \cos \theta + m_L \sin \theta (g + \ell \dot{\theta}^2 \cos \theta) + g m_c \sin \theta}{\ell (m_c + m_L \sin^2 \theta)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

B. Model Linier Sistem

Berikut mengacu pada Bahri & Permana (2017)

Model dinamika matematis yang ditunjukkan pada persamaan (10) merupakan persamaan *non linear*. Persamaan tersebut dapat diubah ke dalam bentuk persamaan *linear*. Penerapan proses linearisasi dengan pendekatan sudut kecil dan pendekatan kecepatan sudut kecil. Maka akan memenuhi persamaan sebagai berikut

$$\cos \theta \approx 1; \sin \theta \approx \theta; \sin^2 \theta \approx 0; \dot{\theta}^2 \approx 0$$

dari persamaan (10) disederhanakan dengan aturan persamaan *linear* diatas maka akan didapatkan

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u + m_L g \theta}{m_c} \\ -\frac{u + m_L g \theta + g m_c \theta}{\ell m_c} \end{bmatrix}$$

atau,

$$\begin{bmatrix} 0 & \frac{m_L g}{m_c} \\ 0 & -\frac{m_L + m_c}{\ell m_c} g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_c} \\ \frac{1}{m_L} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Dari persamaan (11) akan dinyatakan dalam empat vektor state dengan $x = [x_1 x_2 x_3 x_4]$, maka dapat dijelaskan

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Posisi Trolley} \\ \text{Kecepatan Trolley} \\ \text{Posisi Sudut Trolley} \\ \text{Kecepatan Sudut Trolley} \end{bmatrix}$$

Kecepatan *trolley* yang dianotasikan x_2 merupakan turunan dari posisi *trolley* yang dianotasikan x_1 dan pada kecepatan sudut *trolley* yang dianotasikan x_4 merupakan turunan dari posisi sudut *trolley* yang dianotasikan x_3 . Persamaan yang sudah diturunkan, maka model dinamika matematika akan berbentuk persamaan *state* ialah,

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_L}{m_c} g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{m_L + m_c}{\ell m_c} g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_c} \\ 0 \\ -\frac{1}{\ell m_c} \end{bmatrix} u \quad (12)$$

Keterangan :

- m_L : Massa beban crane (Kg)
- m_c : Massa beban *trolley* (Kg)
- g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ ms}^{-2}$)

Variabel yang dikendalikan pada sistem *gantry crane* adalah sudut ayunan bandul (θ) di titik tengah *trolley* dan posisi atau jarak *trolley* (x), maka akan di dapatkan,

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

dengan,

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Persamaan (12) dan (13) merupakan representasi dari sistem *linear* dalam bentuk ruang keadaan dinamika sistem *gantry crane*.

C. Pengendali PID

Proposional, integral, dan derivatif merupakan tiga aksi dari pengendali PID (Sidqi, 2018). Pengendali PID berfungsi sebagai perancangan sistem kontrol linear ataupun non linear untuk mendapatkan hasil respon yang cepat, menghilangkan keterlambatan dan

menghilangkan offset (Ogata, 2010). Model keluaran dari PID ialah,

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (14)$$

Persamaan pengendali PID juga bisa dinyatakan dengan bentuk paralel, maka bentuk persamaan tersebut,

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (15)$$

dengan,

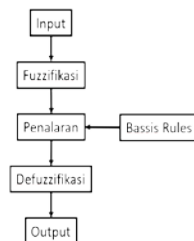
$$K_i = \frac{K_p}{T_i}; \quad K_d = K_p T_d$$

dimana,

- $e(t)$: Sinyal galat (*derajat, m*)
- $u(t)$: Sinyal Output (V)
- T_i : Waktu integral (*s, menit*)
- T_d : Waktu derivatif (*s, menit*)
- K_p : Konstanta proposional
- K_i : Konstanta integral
- K_d : Konstanta derivatif

D. Pengendali Logika Fuzzy

Fuzzy Ifrence System (FIS) atau *Fuzzy Ifrence Engine* bisa disebut dengan pengendali *fuzzy* yang merupakan sebuah sitem logika dengan prinsip yang hampir sama pada manusia yang melakukan penalaran dengan logika berfikirnya (Afikhah, 2019). Fitur utama Fuzzy bisa dikatakan sebuah proses yang terdiri dari pengembangan masukan dan keluaran (Jalani & Wahyudi, 2005).



Gambar 2. Proses Fuzzy Logic Controller

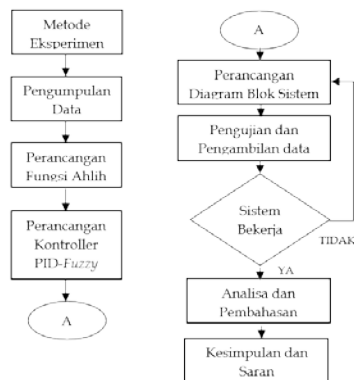
(Sumber: Nur Afikhah, 2019)

Pada Gambar 2 merupakan sebuah konfigurasi dari *fuzzy logic controller* yang terdiri dari fuzzifikasi digunakan sebagai transformasi yang bukan *fuzzy* ke himpunan *fuzzy*, penalaran digunakan sebagai pengambilan keputusan dengan penggunaan keadaan *fuzzy* dan mekanisme pengambilan keputusan, *basic rules* digunakan sebagai pendefinisian himpunan *fuzzy* atas keadaan masukan dan keluaran,

defuzzifikasi digunakan untuk mengonversikan dari proses himpunan *fuzzy* ke sinyal dalam nilai yang nyata (Sunarno & Rohmat, 2015).

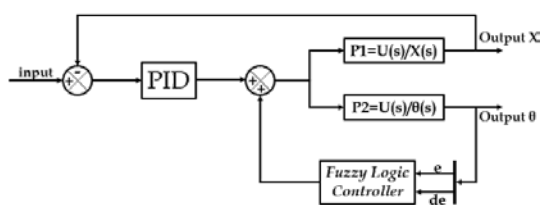
III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode penelitian eksperimen. Pendekatan penelitian eksperimen menjelaskan sebab-akibat antara variabel ke variabel yang lainnya. Penggunaan metode penelitian eksperimen, peneliti melakukan kontrol dan pengukuran yang benar terhadap variabel yang akan di teliti (Siyoto & Sodik, 2015). Diagram alur perancangan penelitian ini terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Rancang Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan software LabVIEW dan MATLAB 2016b. Software LabVIEW digunakan untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem *gantry crane*, kemudian untuk software MATLAB 2016b untuk mendesain tuning PID dan detuning logika *fuzzy*, menghitung nilai parameter pengendali PID-Fuzzy dan menampilkan respon sistem *gantry crane*, serta membandingkan hasil respon sistem dengan menggunakan pengendali, dan tanpa menggunakan pengendali dan ditambahkan gangguan berupa sinyal step.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Gantry Crane

Pada Gambar 4 menunjukkan perancangan sistem *close-loop* di software untuk simulasi. Pengendali PID digunakan untuk *tuning* sebagai

pengendali posisi *trolley* menuju ke arah yang ditentukan. Dengan masukan berupa nilai *setpoint* dan sinyal umpan balik maka keluaran dari PID dapat mengurangi atau menghilangkan *error-steady-state* (Iffah, dkk., 2019)

Pengendali *fuzzy* digunakan untuk *detuning* sebagai pengendali sudut ayunan beban atau bandul. Kesalahan dari gangguan berupa ayunan disebut variabel kondisi dan keluaran dari pengendali fuzzy disebut variabel aksi. Hasil dari kesalahan dimasukan kedalam fungsi keanggotaan untuk menjaga hasil gangguan sinyal yang kecil (Omar, dkk., 2004)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan Sistem

Parameter-parameter yang digunakan dalam sistem *gantry crane* ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL I
Parameter Model Gantry Crane

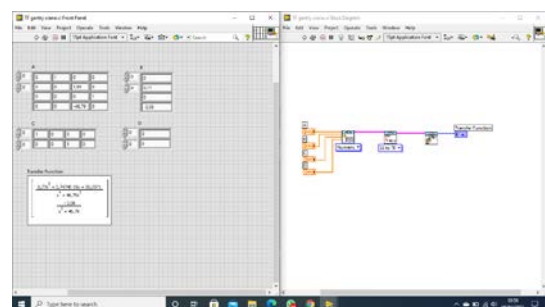
No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Massa Trolley	m_c	1.3	Kg
2	Massa Bandul	m_L	0.25	Kg
3	Panjang Tali	ℓ	0.25	m
4	Gravitasi	g	9.81	m/s^2

Fungsi alih pemodelan akan didapatkan dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 1 ke persamaan (12) dan persamaan (13) maka akan didapatkan sebagai berikut.

$$Ax = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.89 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -46.79 & 0 \end{bmatrix} \quad Bx = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.77 \\ 0 \\ -3.08 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$Cx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad Dx = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Persamaan (16) akan dikonversikan ke LabVIEW untuk pencarian fungsi alih pada sistem *gantry crane*, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut.



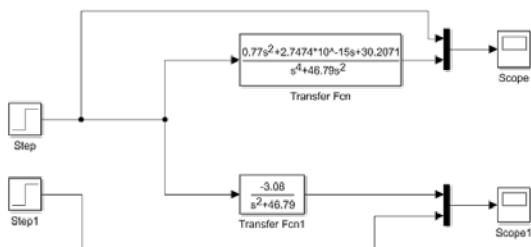
Gambar 5. Perancangan Fungsi Alih Menggunakan LabVIEW

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{0.77s^2 + 2.7474 \cdot 10^{-15}s + 30.2071}{s^4 + 46.79s^2} \quad (17)$$

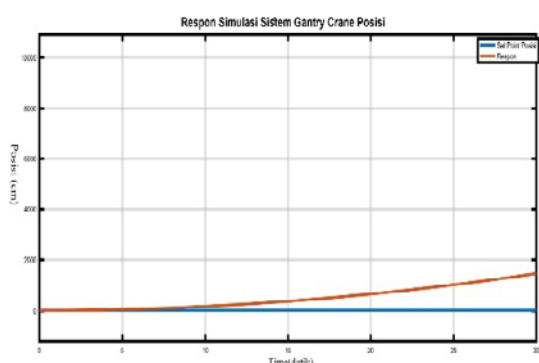
$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{-3.08}{s^2 + 46.79} \quad (18)$$

B. Blok Diagram MATLAB untuk Simulasi Sistem *Open-Loop*

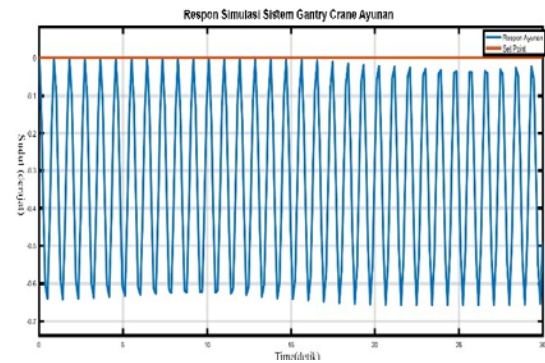
Simulink merupakan sebuah sub program pada software MATLAB yang digunakan untuk mendesain diagram blok sebuah sistem instrumentasi. Persamaan (17) dan (18) merupakan sebuah fungsi alih dalam sistem *gantry crane*, kemudian dilakukan pemodelan pada software MATLAB/Simulink. Pada Gambar 6 merupakan suatu pemodelan diagram blok *open-loop* dengan nilai *setpoint* 5 cm untuk posisi *trolley* dan nilai *setpoint* 0° untuk ayunan bandul. Pada Gambar 7 merupakan hasil respon posisi *trolley* dengan sistem *open-loop* dan Gambar 8 merupakan hasil respon dari ayunan bandul dengan sistem *open-loop*.



Gambar 6. Diagram Simulink *Open Loop* Tanpa Kendali



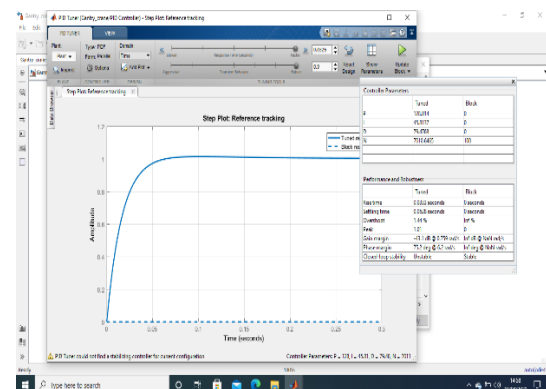
Gambar 7. Respon Sistem *Gantry Crane* Posisi Tanpa Kendali



Gambar 8. Respon Sistem *Gantry Crane* Ayunan Tanpa Kendali

C. Perancangan Pengendali PID

Kesalahan pada posisi *trolley* diperlukan perancangan pengendali untuk mengatur kesalahan dan gangguan terhadap masukan ataupun keluaran sinyal pada model matematis *gantry crane* terhadap posisi. Agar mendapatkan nilai mencapai *setpoint* dan menghasilkan respon yang cepat, maka diperlukan pengendali PID.



Gambar 9. Parameter Pengendalian PID

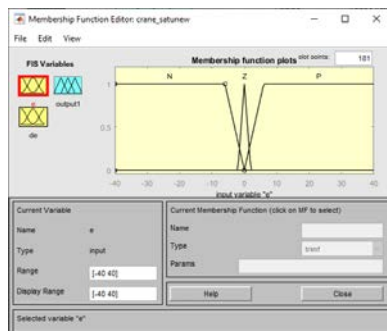
Pada Gambar 9 menunjukkan pencarian parameter PID dengan metode auto tuning dengan menggunakan software MATLAB pada sub program Simulink. Dengan mengatur Response Time hingga menemukan nilai PID dengan hasil respon yang baik. Dengan nilai Kp(x) sebesar 128.014, Ki(x) sebesar 45.8137, dan Kd(x) sebesar 79.4768. Dikarenakan hasil respon masih kurang baik maka peneliti melalui percobaan dan kesalahan mendapatkan nilai Kp(x) sebesar 116.014, Ki(x) sebesar 101.8137, dan Kd(x) sebesar 79.4768.

D. Perancangan Pengendali *Fuzzy Logic*

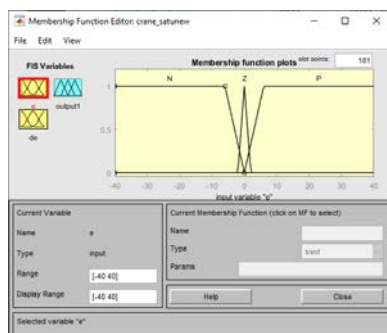
Dalam perancangan kendali fuzzy tidak memerlukan model matematis dari sistem. Variabel yang diperlukan dalam pemodelan

keanggotaan fuzzy berupa masukan dan keluaran, pada masukannya sendiri terdapat error dan delta error. Untuk penerapan sistem peredaman ayunan digunakan logika fuzzy dengan metode mamdani. Besar masukan dan keluaran merupakan nilai dengan satuan sudut yang harus diatur.

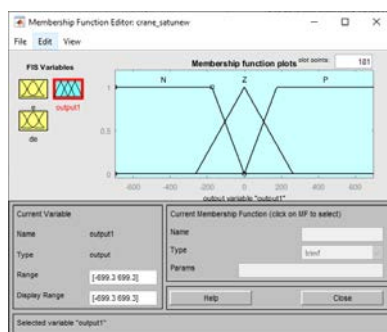
Dari variabel masukan dan variabel keluaran memiliki 3 domain yaitu *Negative*, *zero*, dan *positive*. Derajat keanggotaan pada sistem *gantry crane* menggunakan representasi kurva segitiga, kurva trapesium, dan kurva-S yang di tunjukkan pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



Gambar 10. Fungsi Keanggotaan Masukan *error*



Gambar 11. Fungsi Keanggotaan Masukan *deltaerror*



Gambar 12. Fungsi Keanggotaan Keluaran

Basis aturan IF-THEN atau *rule base* dengan metode implikasi “MIN”, jumlah *rule*

base yang dihasilkan sesuai dengan jumlah keanggotaan himpunan fuzzy yang digunakan. Kemudian hasil dari setiap aturan fuzzy menggunakan operator and yang diagregasikan dengan metode “MAX”. Rule Base fuzzy yang di gunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II
Rule Base

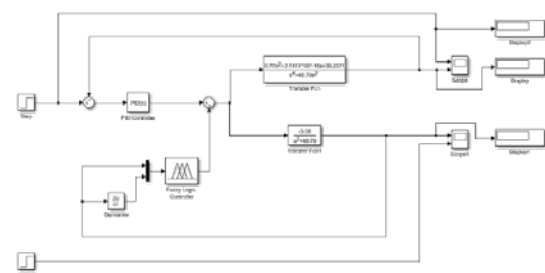
de \ e	N	Z	P
N	N	P	P
Z	N	Z	P
P	N	N	P

E. Pengujian Respon Sistem dengan Pengendali PID-Fuzzy

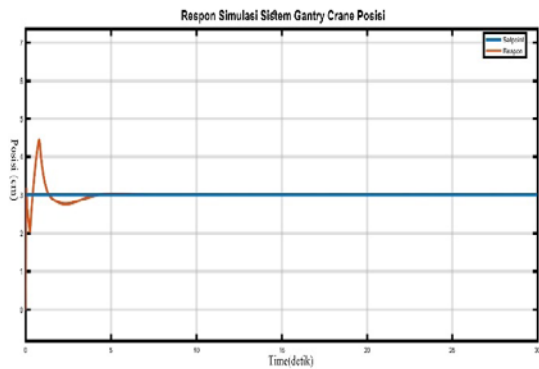
Pada pengujian sistem *Gantry Crane* dilakukan dengan beberapa percobaan. Dengan percobaan pada perbedaan *setpoint* tanpa gangguan dan pengujian pada nilai *setpoint* dengan menggunakan gangguan berupa besaran sudut yang akan di implementasikan pada sinyal step.

F. Pengujian dengan *Setpoint* Tetap

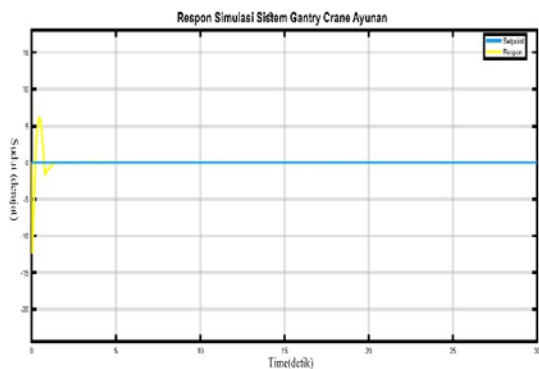
Hasil pengujian dengan Simulink pada software MATLAB dengan hasil respon ditunjukkan pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.



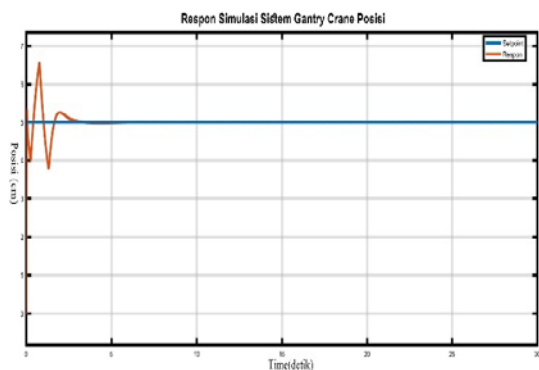
Gambar 13. Diagram Simulink *Close Loop* dengan Kendali



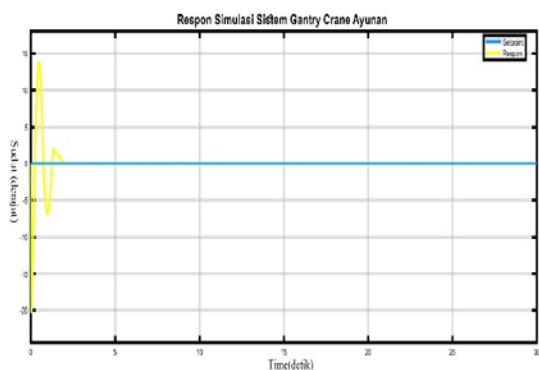
Gambar 14. Respon Sistem Posisi pada Setpoint 3cm



Gambar 15. Respon Sistem Ayunan pada Sinyal Step3



Gambar 16. Respon Sistem Posisi pada Setpoint 5cm



Gambar 17. Respon Sistem Ayunan pada Sinyal Step5

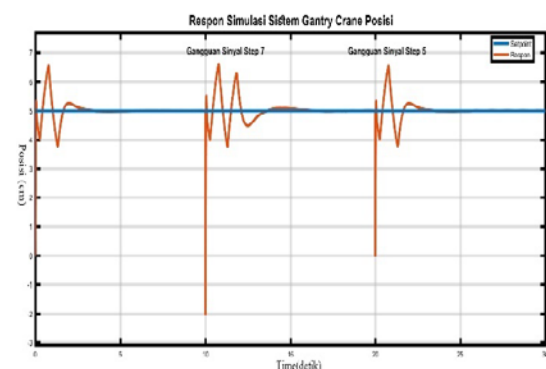
TABEL III
Hasil Simulasi Sistem Gantry Crane

Setpoint	3cm	3°	5cm	5°	Satuan
Overshoot Maksimum (Mp)	4.981	53.077	6.663	71	Persen
TimePeak (tp)	0.790	0.0487	0.780	0.039	Detik
RiseTime (tr)	0.025	0.044	0.026	0.041	Detik
Sattlingtime (ts)	3.737	15.679	2.549	15.351	Detik
Error SteadyState (Ess)	0.006	-	0.014	-	Persen

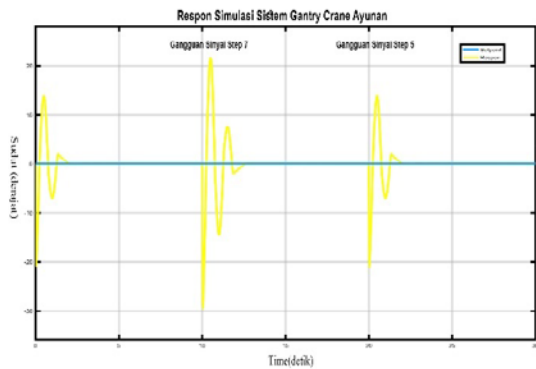
Bisa dibandingkan perbandingan antara menggunakan pengendali dengan tanpa pengendali. Hasil respon menunjukkan penggunaan pengendali lebih stabil dengan tidak adanya osilasi yang berlebihan. Hasil respon simulasi Simulink pada software MATLAB dapat di lihat pada Tabel 3 dengan mendapatkan nilai *error steady state* dan *sattling time* yang kecil.

G. Pengujian dengan Menggunakan Gangguan

Pengujian dengan menggunakan gangguan merupakan hasil uji dengan gangguan berupa penambahan nilai step yang dianotasikan sebagai besaran derajat di setiap waktu respon. Gangguan dengan sinyal step bernilai 7 dan 5 akan di tambahkan pada waktu respon 10 detik dan 20 detik. Pengujian dilakukan pada *setpoint* 5 cm. Gangguan tersebut di Hasil simulasi respon ditunjukkan pada Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 18. Respon Sistem Posisi dengan Gangguan



Gambar 19. Respon Sistem Ayunan dengan Gangguan

Pada Gambar 18 dan Gambar 19 dapat dijelaskan hasil respon sistem posisi dan ayunan dari sistem *gantry crane* mengalami penurunan nilai steady state yang begitu besar, dan mendapatkan nilai *Overshoot* yang begitu tinggi, tetapi respon akan mencapai nilai settling time dengan rata-rata waktu 11 detik. Hasil pengujian sistem *gantry crane* dengan beban dapat dilihat pada Tabel 4 dengan mendapatkan nilai error steady state sebesar 0.02%.

TABEL IV
Hasil Simulasi Sistem *Gantry Crane* dengan Beban

Setpoint	Posisi (x)	Sudut (θ)	Satuan
Overshoot Maksimum (Mp)	7.488	101.82	Persen
TimePeak (tp)	10.776	10.051	Detik
RiseTime (tr)	0.026	$2.14 \cdot 10^{-4}$	Detik
Satlingtime (ts)	22.417	21.744	Detik
Error SteadyState (Ess)	0.02	-	Persen

V. Penutup

A. Simpulan

Sistem *Gantry Crane* dengan pengendali PID-Fuzzy berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Pada sistem posisi dengan pengendali PID memiliki nilai $K_p(x)$ sebesar 116.014, $K_i(x)$ sebesar 101,8137, $K_d(x)$ sebesar 79.4768 dan pada sistem sudut ayunan bandul dengan pengendali Fuzzy memiliki 3 fungsi yaitu *Negative*, *Zero*, *Positive* dengan 9 rulebase. Perancangan pengendali diimplementasikan pada Simulink di software MATLAB 2016b.

Dari hasil respon pada sistem mengacu pada Tabel 3 di mana pengendalian nilai *setpoint* 3 lebih baik dari pada nilai *setpoint* 5, dengan menghasilkan respon dinamik *trolley* (x) dan sudut ayunan bandul (θ) dengan nilai *Overshoot* Maksimum dan *error steady state* yang lebih rendah. Pada nilai *Overshoot* Maksimum(x) ($Mp(x)$) sebesar 4.981%, *Time peak*(x) ($tp(x)$) sebesar 0,790 detik, *Rise time*(x) ($tr(x)$) sebesar 0.025 detik, *Satling time*(x) ($ts(x)$) sebesar 3.737 detik, dan untuk nilai *error steady state*(x) ($Ess(x)$) sebesar 0.006% dan nilai *Overshoot* Maksimum(θ) ($Mp(\theta)$) sebesar 53.077%, *Time peak*(θ) ($tp(\theta)$) sebesar 0,0487 detik, *Rise time*(θ) ($tr(\theta)$) sebesar 0,044 detik, *Satling time*(θ) ($ts(\theta)$) sebesar 15,679 detik.

B. Saran

Berdasarkan dari penelitian yang sudah dilakukan, dari peneliti terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem pengendalian *gantry crane* dalam posisi *trolley* dan ayunan bandul. Sistem ini dapat dikembangkan dengan meredam nilai *Overshoot* dan memperkecil nilai *Satling time* dengan memperbaiki dan menambahkan pada nilai keanggotaan ataupun *rule base* dari pengendali *Fuzzy Logic*. Serta dapat juga dengan menggunakan metode kontrol lain seperti *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dan *Linier Quadratic Regulator Control* (LQR). Agar mendapatkan hasil simpangan bandul yang lebih rendah dan mendapatkan hasil respon yang lebih baik.

REFERENSI

- Abdel-rahman, E. M., Nayfeh, A. H., & Masoud, Z. N. (2003). Dynamics and Control of Cranes : A Review. *Vibration and Control*, June 2015.
<https://doi.org/10.1177/1077546303009007007>
- Abdurahman, E., Kamelia, R., Pembimbing, D., Pramunanto, E., & Industri, F. T. (2016). *Rancang Bangun Pengendali Hoist Pada Miniatur Rubber Tyred Gantry Crane*.
- Afikah, N. (2019). *Sistem Pengendalian Posisi Sumbu Azimuth Pada Turret Gun Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis Arduino Mega 2560* Nur Afikah Puput Wanarti Rusimanto Abstrak Kata Kunci : Azimuth , Turret Gun ,

Fuzzy logic Controller, Arduino Mega 2560
Abstract Keyw. Universitas Negeri Surabaya.

Bahri, S., & Permana, F. A. (n.d.). *Perancangan Prototipe Sistem Kendali Gantry Crane Untuk Meredam Ayunan Secara Realtime Dengan Fuzzy Logic Controller*. Jurnal Elektrum, 14(1), 23–31.

Farag, S. A., Foda, S. G., & Alenany, A. (2016). *Fuzzy Control of a Large Crane Structure Fuzzy Control of a Large Crane Structure*. January 2017. <https://doi.org/10.11591/ijeei.v5i1.256>

Iffah, N., Azmi, M., Yahya, N. M., Fu, H. J., Azhar, W., & Yusoff, W. (2019). *Optimization of the PID-PD parameters of the overhead crane control system by using PSO algorithm. 1*, 1–8.

Jalani, J., & Wahyudi. (2005). *Design and Implementation of Fuzzy Logic Controller for Intelligent Gantry Crane System*. Proceedings of the 2nd Intenational Conference on Mechatronica, May, 345–351.

Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). PEARSON EDUCATION.

Omar, F. K., Karray, F., & Basir, O. (2004). *Journal of Vibration and Control*. Journal of Vibration and Control, 10 (January 2014). <https://doi.org/10.1177/1077546304042038>

Pratama, F. (2015). *CPIE, Rancang Bangun Prototipe Proses Pemindahan Kontainer Menggunakan PLC OMRON*. Universitas Negeri Surabaya.

Rahmawati, L. A., Kurniawan, E., & Wibowo, A. S. (2017). *Antiswing Wireless Overhead Crane Menggunakan Metode Kombinasi Fuzzy Logic Dan Pd System Sistem*. 2–5.

Sidqi, R. (2018). *Rancang Bangun Stabilisasi Sistem Pendulum Terbalik Berbasis Pengendali PID*. Universitas Negeri Surabaya.

Siyoto, S., & Sodik, M. A. (2015). *Dasar Metodologi Penelitian* (Ayup (ed.); 1st ed.). Literasi Media.

Sunarno, & Rohmat. (2015). *Simulasi dan Analisis Respon Fuzzy Logic Controller*. UNNES, 1.