

Desain Sistem Anti-Swing Pada Miniature Gantry Crane Menggunakan Pengendali PID Dan PD Berbasis Matlab

Muhamad Yusuf Arrifai¹, Endryansyah², Puput Wanarti Rusimamto³, Muhamad Syariffuddien Zuhrie⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231, Indonesia
(e-mail: muhamad.17050874042@mhs.unesa.ac.id)

^{2,3,4} Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, 60231, Indonesia
(e-mail: endryansyah@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id, zuhrie@unesa.ac.id)

Abstrak

Dalam dunia industri, gantry crane merupakan salah satu jenis crane yang paling banyak ditemui. Gantry crane adalah perangkat sederhana yang membantu pekerjaan manusia dalam memindahkan beban melebihi kemampuan manusia, seperti beban berat dan material berbahaya di pabrik instalasi nuklir, galangan kapal dan pembangunan gedung-gedung tinggi. Karena beban bergantung secara bebas dan terjadi percepatan atau perlambatan gerak, maka terjadi suatu ayunan beban selama proses pemindahan, mirip dengan gerakan pendulum. Untuk mempercepat proses pemindahan beban dan mengurangi risiko kecelakaan, maka ayunan beban crane harus dihilangkan. Metode yang digunakan pada sistem ini adalah dengan menggunakan kendali PID-PD untuk stabilisasi rancang bangun sistem gantry crane. Pada perancangan pengendali diperoleh nilai konstanta PID dan PD, yaitu K_p sebesar 198.6, K_i sebesar 58.9, K_d sebesar 83.2, K_{pswing} sebesar 119.4, K_{dswing} sebesar $-30 \cdot 10^{-2}$. Berdasarkan hasil pengujian sistem pada setpoint 3 mendapatkan hasil pengujian Error Steady State sebesar 0.033%, Rise Time sebesar 0.0243 detik dan Settling Time sebesar 1.9195 detik untuk respon posisi (x) dan untuk respon ayunan (θ) hasil pengujian Rise Time sebesar 0.1431 detik dan Settling Time sebesar 1.5655 detik. Sedangkan pada setpoint 5 mendapatkan hasil pengujian Error Steady State sebesar 0.04%, Rise Time sebesar 0.0245 detik dan Settling Time sebesar 1.9194 detik untuk respon posisi (x) dan untuk respon ayunan (θ) hasil pengujian Rise Time sebesar 0.1436 detik dan Settling Time sebesar 1.5666 detik.

Kata kunci: Gantry crane, LabVIEW, Matlab, PD, PID.

Abstract

In the industrial world, a gantry crane is one of the most common types of crane. Gantry cranes are simple devices that assist humans in moving loads beyond their capacities, such as heavy loads and hazardous materials in shipyards, nuclear power plant installations, and the construction of tall buildings. Since the load depends freely and there is an acceleration of the motion, a load occurs during the load transfer process, similar to a pendulum motion. To speed up the load transfer process and reduce the risk of accidents, crane loads must be removed. The PID-PD control method was used to stabilize the gantry crane system configuration in this system. The PID-PD constants, namely K_p of 198.6, K_i of 58.9, K_d of 83.2, K_{pswing} of 119.4, K_{dswing} of $-30 \cdot 10^{-2}$, were used in the control design. For the position response (x), the error Steady State test results are 0.033 %, the Rise Time is 0.0243s, and the Settling Time is 1.9195s, based on the system test results at setpoint 3. For the swing response (θ), the Rise Time is 0.1431s, and the Settling Time is 1.5655s, based on the system test results at setpoint 3. For the position response (x), the Error Steady State test results are 0.04%, Rise Time is 0.0245s, and Settling Time is 1.9194s for the swing response (θ), the Rise Time is 0.1436s, and Settling Time is 1.5666s.

Keyword: Gantry crane, LabVIEW, Matlab, PD, PID.

I. PENDAHULUAN

Dengan perkembangan teknologi modern, kebutuhan untuk memindahkan beban berat dari satu titik ke titik yang sudah ditentukan dengan jarak dekat maupun jauh menjadi masalah penting. Ada banyak jenis crane yang digunakan untuk membantu pekerjaan manusia di bidang industri, seperti *tower crane*, *overhead crane*, *ship to shore crane*, *booming crane*, *gantry crane*, dll. *Gantry crane* merupakan jenis crane yang paling banyak digunakan di dunia industri (Ishak, dkk 2018).

Sebuah gantry crane dilengkapi dengan kawat tali yang bisa naik dan turun yang dihubungkan pada sebuah katrol (Bahri, dkk, 2017). *Gantry crane* berfungsi sebagai mesin sederhana guna membantu pekerjaan manusia untuk memindahkan beban diluar kemampuan manusia seperti mengangkat beban berat dan material berbahaya di galangan kapal, pabrik instalasi nuklir, dan konstruksi gedung tinggi.

Sistem kerja *gantry crane* dibagi menjadi 5 tahap, yaitu *gripping* (mencekam beban), *lifting* (mengangkat beban), *moving* (memindahkan beban), *lowering* (menurunkan beban), dan *ungripping* (melepaskan beban). Pada saat proses *moving* (memindahkan beban) merupakan tahapan proses yang memerlukan waktu paling lama, umumnya pada proses ini dilakukan pada kecepatan konstan. Ketika proses *moving* (memindahkan) berlangsung, terjadi ayunan beban seperti gerakan pendulum karena beban tergantung bebas dan ada percepatan atau perlambatan gerak (Rokhim, dkk, 2012). Oleh karena itu ayunan beban crane harus dihilangkan untuk mempercepat proses pemindahan beban dan menghindari resiko kecelakaan.

Ada beberapa penelitian yang telah mencoba berbagai metode. Yang pertama Rokhim, dkk (2012) yang menggunakan metode Sliding Mode Control dengan pengendali PID untuk mereduksi ayunan beban dengan hasil nilai maksimum *overshot* sebesar -0.07 rad dan simpangan ayunan beban sebesar -0.03 rad. Selanjutnya, dilakukan oleh Yang Junqing (2014) yang membuat sistem identifikasi otomatis pada RTGC (*Rubber Tyred Gantry Crane*) di Terminal Kontainer didapatkan hasil bahwa sistem bekerja dengan efektif dan bisa mengurangi resiko kecelakaan kerja. Selanjutnya, yang ketiga

Yudasmara (2016) telah melakukan penelitian tentang crane pengangkut dengan metode *linier* yaitu Sistem Pengendalian Kontainer Berbasis PLC menggunakan HMI (*Human Machine Interface*). Kemudian yang keempat dilakukan oleh Azmi, dkk (2019) yang mendapatkan nilai *settling time* sebesar 5.740 detik, *error steady state* sebesar 0.001% dan *rise time* 7.708 rad untuk mencapai *setpoint* menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) Algorithm dengan parameter PID pada sistem kendali *crane*. Dengan penelitian di atas maka penulis bertujuan untuk mendesain pengendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID) dan Proporsional-Derivatif (PD) untuk sistem *anti-swing* pada *miniature gantry crane*. Perancangan pengendali dilakukan pada *software simulink* MATLAB 2018a dan diharapkan mendapat hasil *error steady state* dan *rise time* yang kecil serta *settling time* mencapai *setpoint* yang ditentukan dengan cepat.

II. TEORI

A. Gantry Crane

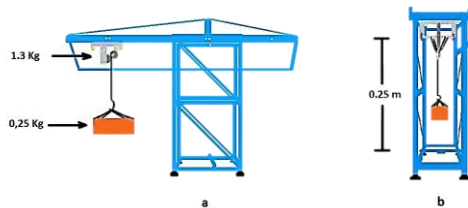
Crane merupakan mesin yang digunakan untuk memindahkan benda berat dari satu tempat ke tempat lainnya. *Crane* pertama kali diciptakan oleh bangsa Yunani kuno untuk pengerjaan konstruksi pada zaman tersebut, dimana tenaga manusia dan hewan dijadikan sumber tenaga penggerak utamanya.

Gantry crane merupakan salah satu jenis *crane* yang banyak digunakan di dunia *industry*, salah satu contoh penggunaan *gantry crane* yaitu untuk mengangkat beban berat dan memindahkan material ataupun hasil produksi diluar kemampuan manusia ke tempat penyimpanan barang di luar ruangan atau pada industri-industri, seperti control pada galangan kapal, konstruksi gedung tinggi dan pelabuhan.

Sebuah *gantry crane* dilengkapi dengan kawat tali yang bias naik dan turun yang dihubungkan pada sebuah katrol. Sistem kerja *gantry crane* dibagi menjadi 5 tahap atau proses, yaitu *gripping* (mencekam beban), *lifting* (mengangkat beban), *moving* (memindahkan beban), *lowering* (menurunkan beban), dan *ungripping* (melepaskan beban).

B. Pemodelan Dinamik *Miniature Gantry Crane*

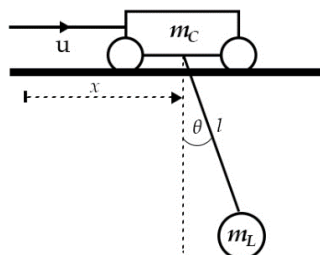
Gantry Crane merupakan perangkat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan beban berat dari satu tempat ke tempat lain dalam jarak dekat maupun jauh. Pada *miniature gantry crane* ini dirancang khusus untuk menguji dan mengevaluasi algoritma kontrol dengan cara disimulasikan pada *software* Matlab atau simulink. Sistem ini menggunakan motor DC sebagai mekanisme Bergeraknya *trolley*. Saat *gantry crane* mulai bergerak, maka akan ada ayunan pada beban seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Hal ini lah yang nantinya akan dikontrol agar ayunan bisa diredam dan mempercepat pekerjaan serta memperkecil tingka resiko kecelakaan.



Gambar 1. *Miniature Gantry Crane*
(a. Tampak Samping – b. Tampak Depan)

C. Model Matematika *Miniature Gantry Crane*

Miniature ini dikonsentrasikan pada kestabilan gerakan ayunan beban 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 pada gangguan ini menimbulkan frekuensi dan amplitude tertentu yang membuat kesetimbangan dan performa sistem terganggu.



Gambar 2. Model *Gantry Crane*
(Sumber: Bahri dan Permana, 2017)

Pada Gambar 2 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

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

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

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

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.

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

Pada Persamaan (4) merupakan gerakan bandul ke arah Horizontal.

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

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

Untuk mencari kestabilan beban arah x , maka Persamaan (2) dan (4) disubstitusikan, sehingga didapatkan

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

Atau,

$$m_C \frac{d^2 x}{dt^2} + m_L \frac{d^2 (x + l \sin \theta)}{dt^2} = u$$

Kemudian dengan kestabilan beban arah horizontal dan vertikal maka Persamaan (4) dan (5) disubstitusikan, dan didapatkan :

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

Atau, (7)

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

Penyederhanaan Persamaan (6) dengan turunan ke 2, maka didapatkan,

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

Penyederhanaan Persamaan (7) dengan turunan ke 2, maka didapatkan

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

Persamaan (8) dan (9) merupakan Persamaan model matematis gerakan. dari sistem gantry crane. Dalam bentuk matriks. Persamaan yang 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 $\Delta = (m_L + m_C) m_L \ell - m_L \cos \theta (m_L \ell \cos \theta)$

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

D. Model Linier Sistem

Model linier sistem berikut mengacu pada pada Bahri dan Permana (2017).

Model dinamika matematis yang ditunjukkan pada Persamaan (10) merupakan Persamaan *non linear*. Persamaan tersebut kemudian 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,

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

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

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

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,

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_L}{m_C} g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{m_L + m_C}{\ell m_C} g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_C} \\ 0 \\ -\frac{1}{\ell m_C} \end{bmatrix} u$$

Keterangan:

- m_L : Massa beban crane (Kg)
- m_C : Massa beban trolley (Kg)
- g : Percepatan gravitasi (9.8 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,

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

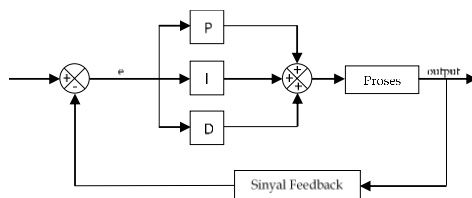
Dengan,

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

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

E. Kendali PID

Kendali PID (*Proportional-Integral-Derivatif*) merupakan kontrol gabungan dari tiga sistem kontrol, yaitu koontrol *proportional*, kontrol *integral* dan kontrol *derivatif* (Sidqi, 2018). Sistem kendali PID merupakan kontroler dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) yang digunakan untuk sistem instrumentasi agar respon yang dihasilkan sesuai dan presisi. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang harus dilakukan adalah mensetting parameter nilai P, I, D sesuai karakteristik masing-masing agar respon sinyal *output* sistem terhadap *input* tertentu bisa sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 3. Diagram Blok sistem kontrol PID
(Sumber: Ogata, 1985)

Model Persamaan output dari pengendali PID adalah

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

Persamaan kontroller 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,

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

Di mana,

- $e(t)$: Sinyal galat (*derajat, m*)
- $u(t)$: Sinyal output (*V*)
- T_i : Waktu *Integral* (*s, menit*)
- T_d : Waktu *Derivatif* (*s, menit*)
- K_p : Konstanta Proporsional
- K_i : Konstanta Integral

K_d : Konstanta Derivatif

F. Kendali PD

Kendali PD (*Proportional-Derivatif*) merupakan kontrol gabungan antara teknik kontrol *proportional* dengan teknik kontrol *Derivatif*. Dalam kontrol *proportional* nilai *input* sistem ekuivalen terhadap nilai *output*. Sinyal *output* adalah sinyal hasil penguatan K_p (Konstanta Proporsional) dari sistem. K_p memiliki aksi yang cepat dan tinggi. Di mana K_p menyatakan kepekaan *proportional* dan T_d menyatakan waktu turunan. Baik K_p maupun T_d nilainya dapat diatur. Kontroler *derivatif* disebut juga kontrol laju, karena besarnya *output* dari kontroler sebanding dengan laju perubahan respon sinyal *error*. Sistem kontroler *derivatif* tidak dapat digunakan tanpa kontroler lain karena kontroler ini hanya efektif pada lingkup yang kecil atau sempit, yaitu selama periode peralihan atau respon (*transient*). (Solihin, Andrian kusuma, 2019)

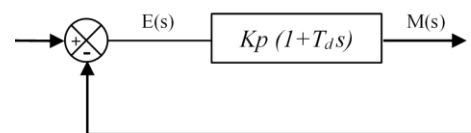
Dalam waktu kontinyu, sinyal *output* kontroler PD dapat dirumuskan dengan Persamaan berikut:

$$m(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

Dengan fungsi alihnya,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (17)$$

Diagram blok dari kontroler *Proportional-Derivatif* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Kontroler *Proportional-Derivatif*
(Sumber: Ogata, 1985)

III. METODE

A. Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Di mana pendekatan metode ini merupakan teknik analisis dan pengumpulan data dalam bentuk variabel angka dan bersifat objektif. Dalam penggunaan

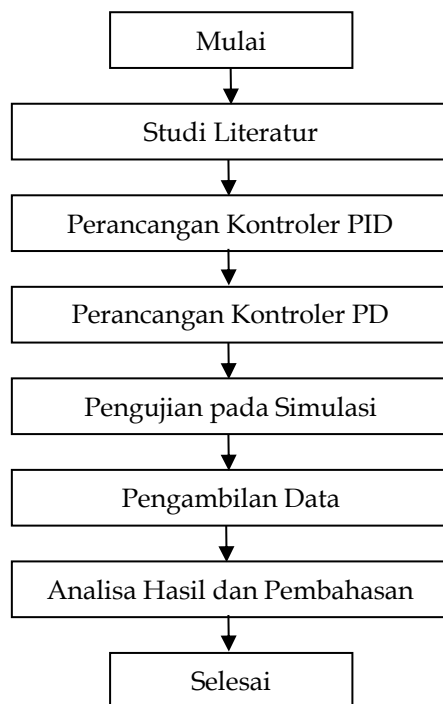
metode kuantitatif ini dapat ditentukan dan diukur hubungan antar variabelnya. Penelitian dengan metode kuantitatif ini bertujuan untuk merangkum hasil penelitian agar dapat digunakan untuk memprediksi keadaan yang sama namun pada populasi yang berbeda (Abdullah, 2015).

B. Instrumentasi Pengumpulan Data

Instrumen penelitian adalah alat bantu penulisan penelitian yang digunakan untuk mempermudah memperoleh data penelitian yang dibutuhkan dan dilakukan secara sistematis. Software yang digunakan pada penelitian ini adalah software MATLAB 2018a dan juga LabVIEW 2020. LabVIEW 2020 digunakan untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem *gantry crane*, kemudian untuk *software* MATLAB 2018a digunakan untuk *mentuning* PID kontroler dan PD kontroler serta menampilkan respon sistem *Miniature Gantry Crane*, serta membandingkan hasil respon system dengan kontroler dan tanpa kontroler.

C. Rancangan Penelitian

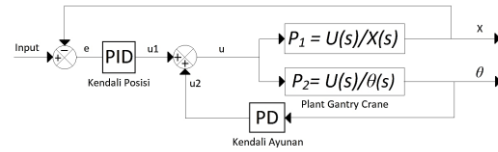
Rancangan Penelitian ini dapat dilihat dari *flowchart* pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema *flowchart* rancangan penelitian

D. Desain Sistem

Desain diagram blok dari *Miniature Gantry Crane* menggunakan PID-PD kontroler ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

Metode yang digunakan dalam desain perancangan controller sistem *gantry crane* ini adalah membagi kontroler menjadi dua bagian, yaitu kontroler posisi *trolley* dan controller anti *swing*. Pengendali PID digunakan untuk tuning sebagai pengendali posisi *trolley* saat bergerak. Sedangkan pada controller anti-*swing* digunakan Pengendali PD. Masing-masing controller dirancang secara parallel untuk mendapatkan performansi yang diinginkan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini parameter pada *Miniatur Gantry Crane* akan dijelaskan beserta hasil pengujian. Hasil pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2018a.

A. Pemodelan sistem *Miniature Gantry Crane*

Untuk memperoleh nilai fungsi alih pemodelan dari sistem, maka yang harus diketahui terlebih dahulu yaitu Parameter-parameter sistem yang digunakan pada *Miniatur Gantry Crane* ditunjukkan pada Tabel I

TABEL I. Parameter Model

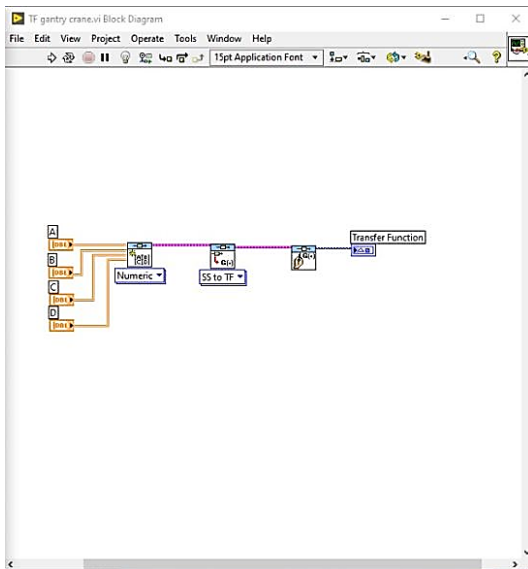
No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Massa <i>Trolley</i>	m_c	1.3	Kg
2	Massa Bandul	m_L	0.25	Kg
3	Panjang Tali	ℓ	0.25	m
4	Gravitasi	g	9.81	ms^{-2}

Fungsi alih pemodelan yang didapat dengan memasukkan nilai dari parameter pada Tabel I ke Persamaan (12) akan didapatkan model linier sistem sebagai berikut:

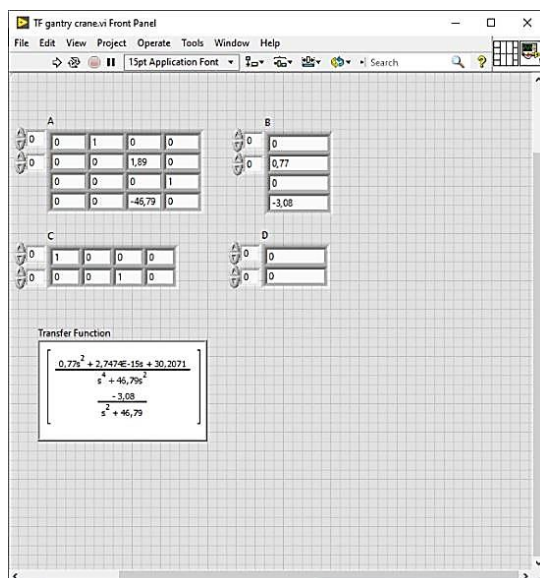
$$Ax = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.89 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -46.79 & 0 \end{bmatrix} \quad Bx = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.77 \\ 0 \\ -3.08 \end{bmatrix}$$

$$Cx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad Dx = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Setelah diketahui model linier sistem *gantry crane* pada Persamaan (12). Dengan menggunakan *software VI state Space to Transfer Function LabVIEW* didapatkan fungsi transfer sistem, yaitu:



Gambar 7. Perancangan Blok Diagram pada LabVIEW



Gambar 8. Perancangan fungsi alih (Matriks) pada LabVIEW

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{0.77s^2 + 2.7474E - 15s + 30.2071}{s^4 + 46.79s^2} \quad (18)$$

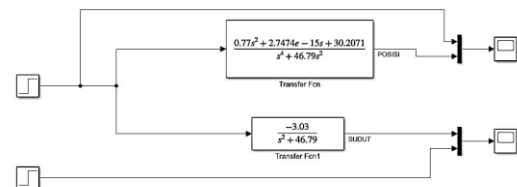
$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{-3.08}{s^2 + 46.79} \quad (19)$$

Pada umumnya respon sinyal keluaran pada orde tinggi mempunyai bentuk sinyal keluaran yang kompleks dan tidak mempunyai bentuk sinyal respon yang khas. Kendati demikian, untuk sistem orde tinggi yang ada dalam praktiknya (dunia industri), memiliki sinyal respon menyerupai atau mendekati respon orde satu dan dua (Arifin, 2015).

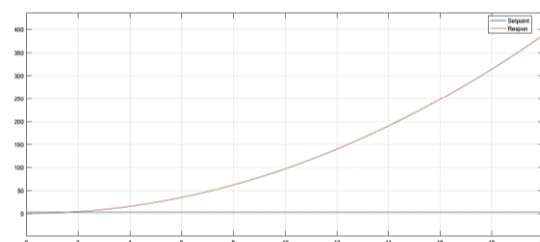
Pada bagian ini analisis respon-transien dari sistem tingkat tinggi terlihat bahwa respon sistem orde tinggi merupakan penjumlahan dari respon sistem orde satu dan orde dua (Ogata, 2010: 189).

B. Blok Diagram dan Simulasi Sistem Open-Loop tanpa kendali

Perancangan blok diagram dan simulasi sistem dilakukan menggunakan program simulink pada *software MATLAB 2018a*. Pada bagian ini dilakukan pengujian sistem *gantry crane* tanpa kendali menggunakan fungsi alih dari Persamaan (13) dan (14). Dengan nilai set point 3cm untuk posisi (x) dan setpoint 0° untuk ayunan beban (θ).

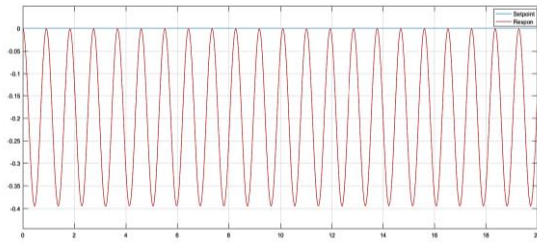


Gambar 9. Blok Diagram Sistem Open-Loop tanpa Kendali



Gambar 10. Respon Posisi tanpa Kendali

Pada Gambar 10 grafik respon posisi menunjukkan bahwasanya grafik respon tanpa menggunakan kendali terus naik menuju tak terhingga dan tidak dapat mengikuti *setpoint* yang ditentukan. Hal ini menunjukkan jika sistem *gantry crane* tidak dapat mempertahankan posisinya dalam keadaan stabil dan dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada peralatan yang digunakan.

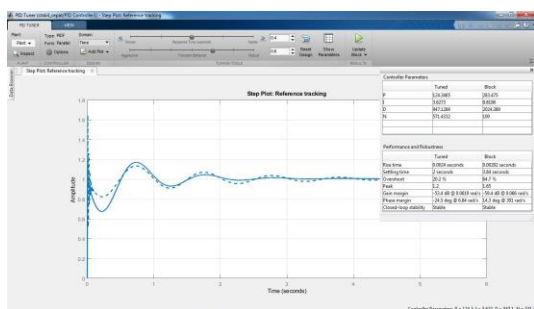


Gambar 11. Respon Ayunan tanpa Kendali

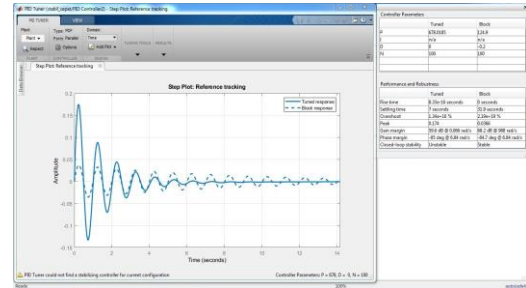
Pada Gambar 11 grafik respon ayunan tanpa menggunakan kendali menunjukkan osilasi terus menerus sehingga tidak dapat mengikuti *setpoint* yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan jika sistem *gantry crane* tidak dapat mempertahankan posisinya dalam keadaan stabil, sehingga diperlukan sebuah kontroler pada *gantry crane* agar dapat mencapai nilai *setpoint* yang telah ditentukan dengan respon sistem yang stabil.

C. Perancangan Sistem Kendali

Dalam penelitian ini respon pada posisi *trolley* diperlukan perancangan pengendali untuk mengatur *error* dan gangguan terhadap sinyal *input* ataupun *output* pada model matematis *gantry crane* terhadap posisi. Agar mendapatkan nilai yang mampu mencapai *setpoint* dan menghasilkan respon dengan cepat maka diperlukan kontroler PID. Untuk mendapatkan nilai PID dan PD penulis menggunakan metode auto tuning dengan menggunakan software MATLAB pada sub program simulink. Dengan mengatur *response time* hingga menemukan nilai PID untuk posisi *trolley* dan PD untuk anti-swing yang memiliki respons sistem yang cepat dan stabil. Selain menggunakan *auto tuning* pada MATLAB, nilai dari hasil *tuning* dilakukan percobaan dan diubah-ubah nilai dari Kp, Ki, Kd sesuai dengan karakteristik kendali P, I, D.



Gambar 12. Auto tuning Parameter PID



Gambar 13. Auto tuning Parameter PD

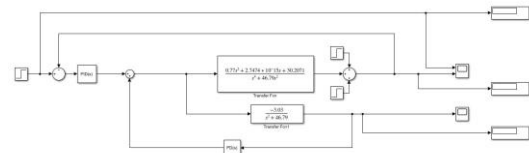
Hasil dari *tuning* nilai PID-PD ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL II. Nilai Kp, Ki, Kd, Kp_{swing}, Kd_{swing}

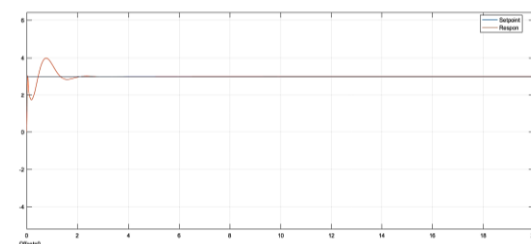
Kp	Ki	Kd	Kp _{swing}	Kd _{swing}
198.6	58.9	83.2	119.4	-30.10 ⁻²

D. Pengujian dengan Nilai Setpoint Tetap

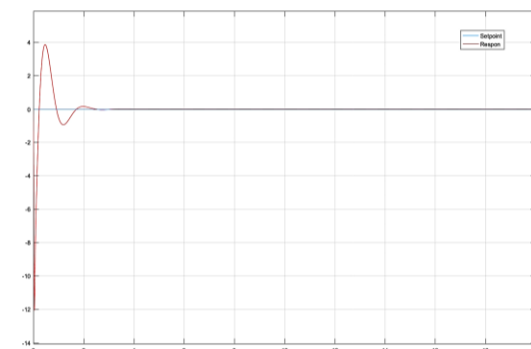
Pada pengujian dengan nilai *setpoint* tetap dilakukan menggunakan software MATLAB 2018a sub program simulink dengan hasil respon ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17 dan Gambar 18.



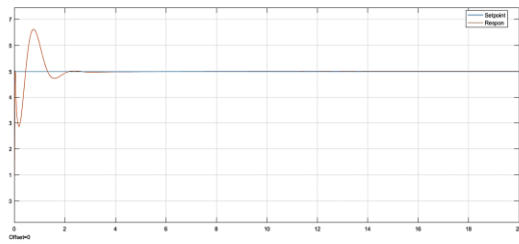
Gambar 14. Diagram blok Close-Loop dengan Kontroler



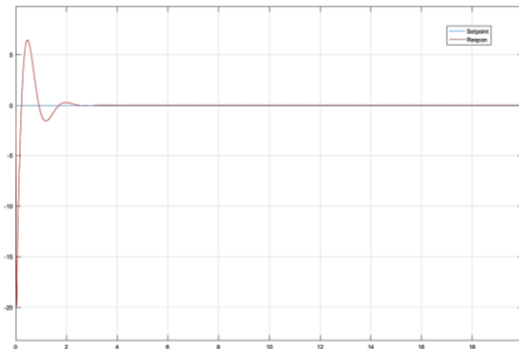
Gambar 15. Respon Sistem Posisi pada Setpoint 3cm



Gambar 16. Respon Sistem Ayunan pada Setpoint 3cm



Gambar 17. Respon Sistem Posisi pada *Setpoint* 5cm



Gambar 18. Respon Sistem Ayunan pada *Setpoint* 5cm

TABEL III. Hasil Simulasi Respon Sistem *Gantry Crane*

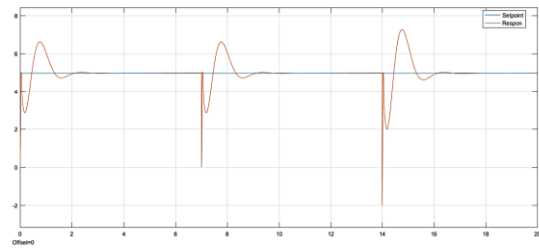
Parameter	Setpoint				Satuan
	Posisi	Ayunan	Posisi	Ayunan	
Rise Time (T_r)	0.0243	0.1431	0.0245	0.1436	Detik
Settling Time (T_s)	1.9195	1.5655	1.9194	1.5666	Detik
Peak Time (T_p)	0.758	0.0424	0.759	0.0387	Detik
Error Steady State	0.033	-	0.04	-	%
Overshoot Maksimum (M_p)	2.074	32.667	0.944	32.667	%

Dari data simulasi respon diatas bisa dilihat bahwa respon saat menggunakan kontroler dan tanpa kontroler. Hasil respon menunjukkan saat menggunakan kontroler lebih stabil dengan osilasi yang sedikit. Hasil simulasi respon sistem dapat dilihat di Tabel III dengan mendapat nilai *error steady state* dan *settling time* serta *peak time* yang kecil.

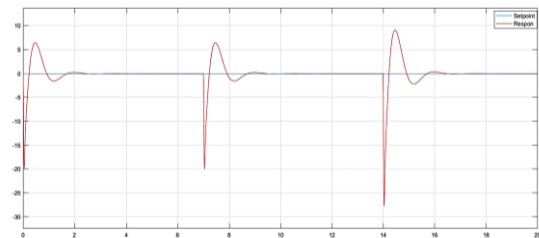
E. Pengujian dengan Menggunakan Gangguan

Pengujian dengan menggunakan gangguan merupakan hasil uji sistem dengan gangguan berupa penambahan nilai step sebesar 5 dan 7 pada *step time* 7 detik dan 14 detik. Pengujian

dilakukan pada *setpoint* 5. Hasil respon gangguan ditunjukkan pada Gambar 19 dan Gambar 20.



Gambar 19. Respon Sistem Posisi dengan Gangguan



Gambar 20. Respon Sistem Ayunan dengan Gangguan

TABEL IV. Data Hasil Simulasi *setpoint* 5 dengan Gangguan

Parameter	Posisi	Ayunan	Satuan
Rise Time (T_r)	0.0227	0.136	Detik
Settling Time (T_s)	15.8	15.575	Detik
Peak Time (T_p)	14.75	14.037	Detik
Error Steady State	0.22	-	%
Overshoot Maksimum (M_p)	0.958	36.72	%

Dari data diatas dapat dilihat bahwa ketika sistem diberi gangguan nilai dari *rise time* dan *overshoot* tetap stabil, tetapi untuk nilai *peak time* dan *settling time* dan *error steady state* mengalami peningkatan nilai yang besar.

V. SIMPULAN

A. Simpulan

Desain sistem anti-swing pada *miniature gantry crane* menggunakan pengendali PID-PD dapat bekerja dengan baik. Perancangan sistem simulasi dilakukan pada *software* MATLAB 2018a dalam sub program simulink.

Dari hasil respon yang mengacu pada Tabel 3 nilai dari pengujian sistem *gantry crane* mendapatkan hasil *Error Steady State* dan *Rise Time* yang kecil serta *Settling Time* mencapai

setpoint dengan cepat. Pada *setpoint* 3 mendapatkan hasil pengujian *Error Steady State* sebesar 0.033%, *Rise Time* sebesar 0.0243 *second* dan *Settling Time* sebesar 1.9195 *second* untuk respon posisi (x) dan untuk respon ayunan (θ) hasil pengujian *Rise Time* sebesar 0.1431 detik dan *Settling Time* sebesar 1.5655 detik. Sedangkan pada *setpoint* 5 mendapatkan hasil pengujian *Error Steady State* sebesar 0.04%, *Rise Time* sebesar 0.0245 detik dan *Settling Time* sebesar 1.9194 detik untuk respon posisi (x) dan untuk respon ayunan (θ) hasil pengujian *Rise Time* sebesar 0.1436 detik dan *Settling Time* sebesar 1.5666 detik. Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa penelitian ini menghasilkan *Error Steady State*, *Rise Time* dan *Settling Time* lebih baik dari peneliti sebelumnya.

B. Saran

Berdasarkan dari penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa saran dari penulis yang dapat dilakukan untuk pengembangan sistem *gantry crane*, yaitu dengan menggunakan Metode LQR (*Linier Quadratic Regulator Control*) atau dengan menggunakan kontroler adaptif seperti ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*), *Hybrid* ANFIS-PID sehingga sistem dapat menyesuaikan dengan lebih baik dan cepat untuk mencapai *setpoint* ataupun saat diberikan gangguan.

REFERENSI

- Abdullah. Ma'ruf. 2015. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Sleman Yogyakarta. Aswaja Pressindo.
- Arifin. Fatchul. 2015. *Sistem Kendali Dasar Respon Waktu dan Respon Frekuensi*. Makalah.
- Azmi. Nur Iffah Mohamed, Yahya. Nafizuan Mat, Ho Jun Fu, dan Wan Azhar Wan Yushof. 2019. *Optimization of the PID-PD Parameters of the Overhead Crane Control System by Using PSO Algorithm*. MATEC Web of Conferences.
- Bahri. Saeful dan Permana. Febby Angga. 2017. *Perancangan Prototipe Sistem Kendali Gantry Crane untuk Meredam Ayunan Secara Realtime dengan Fuzzy Logic Controller*. Elektum, 14(1).
- Cheng-Yuan Chang. 2007. *Adaptive Fuzzy Controller of the Overhead Crane with Nonlinear Disturbance*. IEEE Trans. On Industrial Informatics, 3(2):164-172.
- Ishak. Lisa Fitriani dan Aminudin. Tohir. 2018. *Perancangan Sistem Gantry Crane dengan Wireless Control Berbasis Arduino*. Jurnal LIKTEK, 15(1): 9-14.
- Ogata. Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik*. Terjemahan Edi Leksono. Jakarta:Erlangga.
- Ogata. Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Super Saddle River:Pearson.
- Rokhim. Ismail, Rameli. Mochammad, dan Fathoni. Ali. 2012. *Pengaturan Anti Swing pada Gantry Crane dengan Menggunakan PID-Sliding Mode Control*. JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering,10(1).
- Sidqi. Rafi. 2018. *Rancang Bangun Stabilisasi Sistem Pendulum Terbalik Berbasis Pengendali PID*. Skripsi. Fakultas Teknik, Teknik Elektro. UNESA, Surabaya.
- Solihin. Mahmud Iwan, Wahyudi, Kamal dan Legowo. Ali. 2008. *Optimal PD Controller Tuning of Automatic Gantry Crane Using PSO ALgorithm*. ISMA08,16(1).
- Yang. Junqing. 2014. *A New Automatic Identification System of RTG crane in Container Terminal*. International Conference on Information and Automation Hailar.
- Yudasmara. Raga Buana. 2016. *Sistem Pengendalian Proses Pemindahan Kontainer Berbasis PLC menggunakan HMI (Human Machine Interface)*. Skripsi. Fakultas Teknik, Teknik Elektro. UNESA, Surabaya.