

# Desain Sistem *Anti-Sway* Dengan Kontroler PD-PI Pada *Gantry Crane* Menggunakan *Software* MATLAB

Surabaya, 07 Juni 2021

**Akhmad Fahrur Rozi**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: akhmad.17050874064@mhs.unesa.ac.id

**Endryansyah, I Gusti Putu Asto Buditjahyanto, Lilik Anifah**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : endryansyah@unesa.ac.id, asto@unesa.ac.id, lilikanifah@unesa.ac.id



Miftahur Rohman

## Abstrak

*Gantry Crane* adalah alat bantu mekanis untuk mengangkat dan memindahkan benda dari suatu posisi ke posisi lainnya. *Crane* secara luas dipakai di bidang industri, pelabuhan, maupun konstruksi bangunan tinggi. Salah satu masalah yang terjadi adalah pada saat *Gantry Crane* bergerak menyebabkan *sway* (ayunan) dengan sudut tertentu, mengikuti percepatan dan perlambatan pada saat perpindahan crane terjadi. Tujuan Penelitian yaitu membuat sistem kendali kontrol *Anti-Sway* pada *Gantry Crane* menggunakan pengendali PD-PI agar mampu menstabilkan *sway* (ayunan) saat terjadi gangguan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi sistem dengan Simulink menggunakan *software* Matlab. Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada sistem *Gantry Crane* dengan pengendali PD-PI, didapatkan hasil respon terbaik sistem didapat pada *setpoint* 3 untuk respon posisi dan sudut. Untuk respon posisi didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) = 0,031 detik, nilai *settling time* ( $t_s$ ) = 0,838 detik, nilai *peak time* ( $t_p$ ) = 0,056 detik, nilai *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 9,431%, dan nilai *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,0003%. Sedangkan pada respon sudut didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) =  $1,1 \times 10^{-6}$  detik, nilai *settling time* ( $t_s$ ) = 0,641 detik, nilai *peak time* ( $t_p$ ) = 0,056 detik, nilai *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 36,30%.

**Kata Kunci:** *Anti-sway*, *Gantry Cranel*, PD-PI

## Abstract

*Gantry Crane* is a mechanical aid to lift and move objects from one point to another. Cranes are widely used in industry, ports, and high-rise building construction. One of the problems that occurs is when the moving *Gantry Crane* causes a *sway* (swing) at a certain angle, following the acceleration and deceleration when the crane displacement occurs. The purpose of this research is to make an *Anti-Sway* control system on a *Gantry Crane* using a PD-PI controller to stabilize the *sway* when a disturbance occurs. The method used in this research is to simulate the system with Simulink using the Matlab software. Based on the simulations carried out on the *Gantry Crane* system with PD-PI controller, the best results of the system response are obtained at *setpoint* 3 for position and angle responses. For the position response, the value of *rise time* ( $t_r$ ) = 0.031 seconds, the value of *settling time* ( $t_s$ ) = 0.838 seconds, the value of *peak time* ( $t_p$ ) = 0.056 seconds, the value of *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 9.431%, and the value of *steady state error* ( $e_{ss}$ ) = 0.0003%. Whereas in the corner response, the value of *rise time* ( $t_r$ ) =  $1.1 \times 10^{-6}$  seconds, the value of *settling time* ( $t_s$ ) = 0.641 seconds, the value of *peak time* ( $t_p$ ) = 0.056 seconds, the value of *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 36.30% .

**Keywords:** *Anti-sway*, *Gantry Cranel*, PD-PI.

# Universitas Negeri Surabaya

## PENDAHULUAN

*Gantry Crane* adalah alat bantu mekanis untuk mengangkat dan memindahkan benda dari suatu posisi ke posisi lainnya (Sartika dan Sumali. 2015). Ada banyak jenis crane yang telah digunakan dalam kehidupan ini, seperti *Tower Crane*, *Overhead Crane*, *Gantry Crane*, dll. Crane banyak digunakan di industri, pelabuhan atau dermaga, maupun dalam konstruksi gedung-gedung tinggi untuk memindahkan barang-barang yang berukuran besar, sangat berat, dan berbahaya ke sekitarnya. Crane dilengkapi dengan *trolley* yang membawa barang dalam bidang horizontal. Beban dihubungkan ke *trolley* melalui *wire rope* dengan

panjangnya bisa diatur melalui mekanisme derek (Bahri dan Permana. 2017).

*Gantry Crane* pada dasarnya dibagi menjadi tiga Gerakan. Gerakan *hoist* merupakan gerakan atas dan bawah untuk mengangkat dan menurunkan beban atau muatan yang diikat melalui *wire rope*.

Gerakan *transversal* merupakan gerakan dimana troli berpindah secara horizontal. Gerakan *longitudinal* merupakan gerakan horizontal pada rel besi yang dilakukan melalui roda gigi transmisi (Ishak dan Aminudin. 2018).

Pada saat *Gantry Crane* bergerak ketika memindahkan beban akan terjadi *sway* (ayunan) dengan

sudut tertentu, mengikuti percepatan dan perlambatan pada saat perpindahan crane terjadi (Rahmawati, dkk. 2017). *Sway* pada beban merupakan hal yang umum dalam permasalahan pengoperasian *Gantry Crane*. *Sway* pada beban meningkatkan resiko terjadinya kerusakan properti perusahaan dan tingkat kecelakaan kerja (Akbar, dkk. 2016).

Banyak penelitian dilakukan untuk mendapatkan hasil *sway crane* yang sesuai. Sebelumnya telah ada yang melakukan penelitian tentang *sway* pada crane dengan judul, Rancang Bangun Prototype “*Gantry Crane*” Berbasis Analisis Kestabilan Routh Hurwitz Dan Kontrol Robust Menggunakan Spektrum DSP TMS320C6713. Pada penelitian ini menghasilkan nilai respon terbaik dengan karakteristik *risetime* ( $t_r$ ) = 6,79%, *timepeak* ( $t_p$ ) = 0,21 % dan *settlingtime* ( $t_s$ ) = 0,37% (Adiyas, dkk. 2014).

Pada penelitian selanjutnya dengan judul Optimalisasi Kontroler PD-LQR Dengan Algoritma UPSO Untuk Meningkatkan Performansi Crane Anti Ayun. Pada penelitian ini didapatkan hasil *settling time* ( $t_s$ ) = 4,9933 dan *error steady state* ( $ess$ ) = 0,0023 (Rijal, dkk. 2015).

Penelitian lainnya dengan judul Sistem Kendali *Anti Sway Gantry Crane* Menggunakan Metode PID. Pada penelitian ini menghasilkan nilai  $K_p=1$  dan  $K_d=8$  dapat mencapai kestabilan dengan waktu 7,8 detik (Fahmi, dkk. 2019).

Berdasarkan latar belakang dan penelitian sebelumnya maka dapat dilakukan pengembangan penelitian terhadap *sway* yang terjadi pada *gantry crane* dengan menggunakan kontroler PD-PI. Pengembangan tersebut bertujuan untuk mendesain sistem *anti-sway* pada *gantry crane* dengan kontroler PD dan PI menggunakan simulasi Simulink pada Matlab. Diharapkan kontroler PD-PI dapat mengontrol pergerakan posisi dan *sway* yang kurang baik pada *Gantry Crane*.

## METODE

### Penelitian Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Merujuk pada buku yang ditulis oleh Siyoto dan Sodik (2015:23) berjudul “Dasar Metodologi Penelitian”. Penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat (kausalitas) antara satu variabel dengan lainnya. Dalam menjelaskan hubungan kausalitas diharuskan melakukan kontrol dan pengukuran dengan cermat terhadap variabel atau data pembandingnya. Data yang digunakan merupakan data dari studi literatur berupa buku teks, skripsi, dan jurnal.

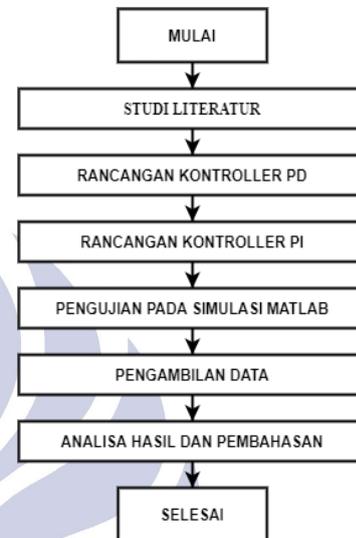
### Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data adalah alat bantu yang digunakan dalam sebuah penelitian untuk mengumpulkan data yang diolah secara kuantitatif dan disusun secara

sistematis (Payadnya dan Jayantika. 2018:1-2). Disini penulis menggunakan Software Matlab yang terpasang pada laptop. Matlab digunakan untuk menjalankan Simulink untuk mendapatkan data dari simulasi yang telah dilakukan pada sistem *anti-sway* pada *Gantry Crane*.

## Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dapat dilihat pada flowchart Gambar 1.

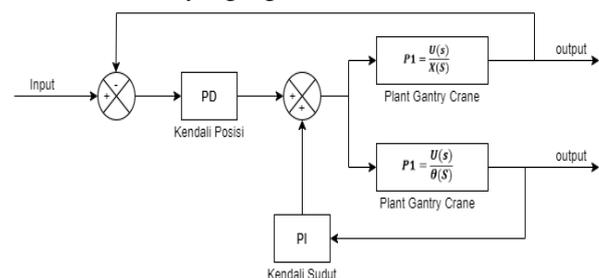


Gambar 1. Flowchart rancangan penelitian

Berdasarkan Gambar 1 penelitian ini melakukan penyusunan dimulai dengan studi literatur dari berbagai macam referensi seperti, skripsi, ebook, dan jurnal. Langkah penelitian selanjutnya membuat perancangan kontroler PD dan perancangan kontroler PI. Setelah selesai melakukan perancangan perancangan kontroler PD dan kontroler PI maka penelitian dilanjutkan dengan pengujian menggunakan simulasi pada software matlab dan dilakukan dalam beberapa kondisi tertentu. Kemudian peneliti mengambil data dari simulasi simulink pada matlab. Langkah terakhir yang dilakukan oleh peneliti yaitu mengamati dan menganalisa hasil data respon *anti-sway* pada *gantry crane*.

## Desain Sistem

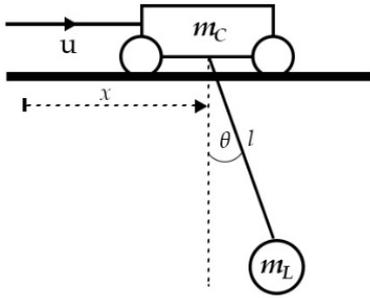
Desain perancangan sistem kontrol *anti-sway* pada *gantry crane* menggunakan pengendali PD-PI dapat dilihat pada Gambar 2. Sistem yang digunakan adalah sistem *close-loop*.



Gambar 2. Diagram blok sistem

### Model Matematika *Plant Gantry Crane*

Model matematika pada *gantry crane* dijelaskan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Model gantry crane  
(Sumber: Bahri dan Permana. 2017)

Gambar 3 menunjukkan mekanisme pergerakan Crane di mana massa troli melambangkan  $m_C$ ,  $u$  di simbolkan sebagai gaya,  $m_L$  sebagai massa bandul,  $x$  di simbolkan sebagai posisi,  $\theta$  di simbolkan sebagai sudut ayunan, dan  $l$  adalah panjang kawat atau tali.

Pemodelan diatas dituliskan dengan hukum newton kedua yaitu:

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

Dalam hukum newton kedua dan aturan trigonometri dapat digunakan dalam model pencarian massa trolley dan massa beban dengan gerakan horizontal dan vertikal sebagai berikut :

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

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 beban ke arah Horizontal.

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

Pada persamaan (5) merupakan gerakan beban ke arah vertikal. Guna pencarian beban arah  $x$  maka persamaan (2) dan (4) disubstitusikan sebagai berikut :

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

atau,

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

Dengan mencari keseimbangan beban arah horizontal dan vertikal maka persamaan (4) dan (5) disubstitusikan, maka didapatkan.

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

atau,

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

Penyederhanaan persamaan (6) dengan turunan ke 2 maka didapatkan persamaan:

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

Penyederhanaan persamaan (7) dengan turunan ke 2 maka didapatkan persamaan:

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

Persamaan (8) dan (9) merupakan persamaan model dari sistem gantry crane. Dalam bentuk matriks persamaan tersebut dapat didapatkan.

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

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

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

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

### Model Linier

Menerapkan proses linearisasi dengan pendekatan sudut kecil dan pendekatan kecepatan sudut kecil. Maka akan sebagai berikut :

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

Kemudian akan disederhanakan menjadi :

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

atau,

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

Untuk memudahkan penulisan maka dituliskan  $x =$

$$[x_1 x_2 x_3 x_4]$$

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

Kecepatan trolley  $x_2$  turunan dari posisi trolley  $x_1$  dan pada kecepatan sudut trolley  $x_4$  merupakan turunan posisi trolley  $x_3$ ., maka dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

- u : Jarak perpindahan *trolley* (cm)
- F : Gaya hukum newton kedua (N)
- $m_L$  : Massa beban crane (Kg)
- $m_C$  : Massa beban *trolley* (Kg)
- g : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ ms}^{-2}$ )
- $\theta$  : Sudut ayunan ( $^\circ$ )
- l : Panjang tali (cm)

Keluaran pada sistem *gantry crane* adalah sudut ayunan beban ( $\theta$ ) dan posisi *trolley* (x), maka persamaannya sebagai berikut :

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

Dengan,

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

### Kendali PD

Kendali PD merupakan sebuah sistem yang menggabungkan proportional dan derivative. Dalam aksi kendali proportional, keluaran sistem kendali akan berbanding lurus dengan masukan dan eror, dan menghasilkan respon yang cepat. Sedangkan aksi derivative bekerja sesuai laju perubahan eror. Kendali proportional adalah metode pengendali yang memberikan gain atau penguatan secara langsung kepada sistem untuk mempengaruhi keluaran sistem. Derivative digunakan bersama dengan proportional sebagai kompensator yang memperbaiki nilai keluaran sistem sehingga mempercepat respon transien sistem (Akbar, dkk. 2016). Persamaan umum sebuah PD adalah sebagai berikut:

$$U(T) = Kp e(t) + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (14)$$

Dari persamaan (14) maka bisa didapat fungsi alihnya seperti persamaan (15) yaitu:

$$\frac{U(s)}{R(s)} = Kp + Kd S \quad (15)$$

### Kendali PI

Kendali PI adalah sistem kendali gabungan antara kendali proporsional dan integral. Pengontrol PI secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sistem dan menghilangkan offset (Rynaldo.2018). Pengendali PI dirumuskan sebagai :

$$U(t) = Kp \left( e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (16)$$

Dari Persamaan (16) maka bisa didapat fungsi alihnya seperti persamaan (17) yaitu:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \left\{ 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right\} \quad (17)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui hasil respon sistem yang telah dibuat menggunakan kontroler PD-PI yang sudah disimulasikan menggunakan Simulink pada Matlab, dijelaskan pada deskripsi berikut.

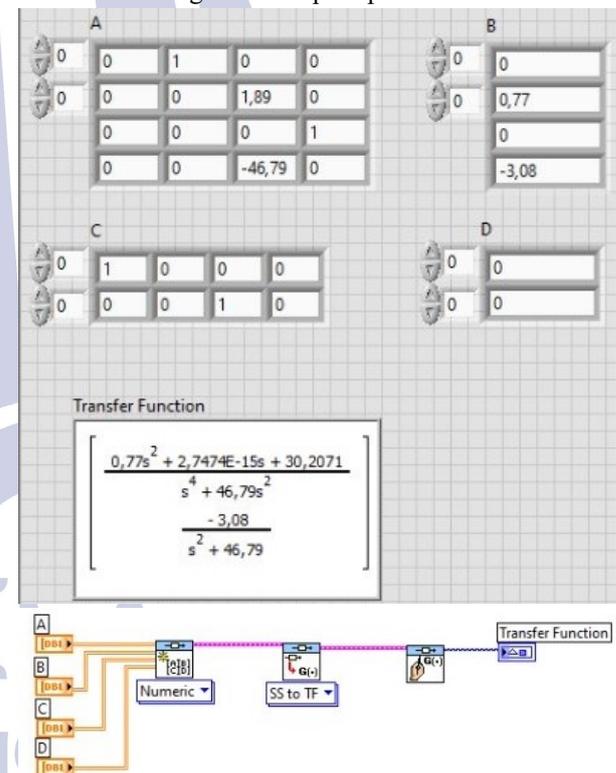
### Pemodelan Sistem

Dari konstanta yang telah didapatkan dari parameter fisik plant dapat ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter sistem

Parameter	Nilai	Satuan
Massa bandul	0,25	Kg
Massa <i>trolley</i>	0,25	Kg
Panjang tali	25	Cm
Percepatan gravitasi	9,81	$\text{ms}^{-2}$

Maka fungsi alih didapatkan menggunakan *software* LabVIEW. Dengan hasil seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengambilan fungsi alih dengan *software* LabVIEW

$$Ax = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,89 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -46,79 & 0 \end{bmatrix} \quad Bx = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,77 \\ 0 \\ -3,08 \end{bmatrix}$$

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

Maka fungsi alih yang didapatkan pada persamaan (18) dan persamaan (19):

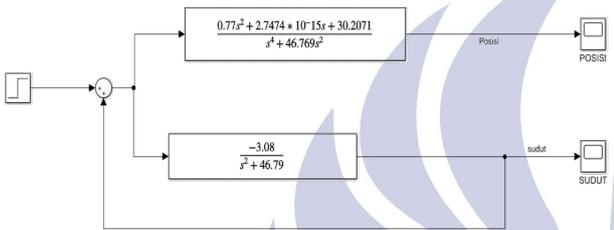
$$\text{Fungsi alih Posisi} = \frac{0,77s^2 + 2,7474E-15s + 30,2071}{s^4 + 46,79s^2} \quad (18)$$

$$\text{Fungsi alih Sudut} = \frac{-3,08}{s^2 + 46,79} \quad (19)$$

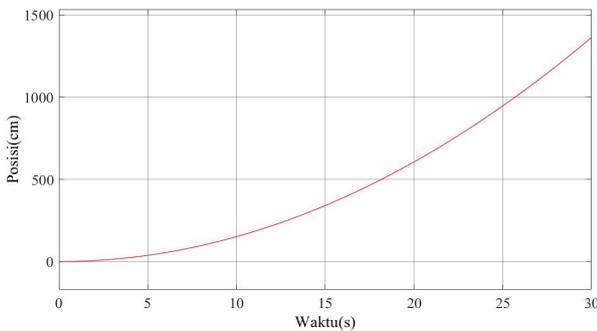
Gambar 4 merupakan hasil perhitungan fungsi alih. Penelitian ini menggunakan LabVIEW untuk mendapatkan nilai fungsi alih yang lebih presisi. Sebelumnya dalam mencari fungsi alih menggunakan Matlab untuk mendapatkan hasil fungsi alih akan tetapi hasilnya tidak muncul karena terjadi kesalahan. Kemungkinan besar itu terjadi karena hasil yang didapat merupakan ordo tinggi.

### Blok Diagram dan Simulasi Sistem *Open-loop* Tanpa Kendali

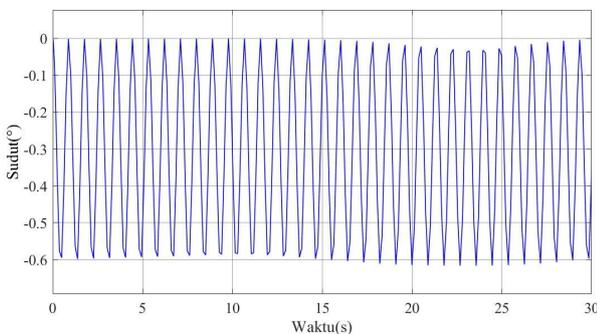
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap sistem *anti-swaay* pada *gantry crane* tanpa menggunakan kendali dapat dilihat palnt *Gantry Crane* serta hasil grafik respon pada gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram *gantry crane*



Gambar 6. Respon posisi *gantry crane*



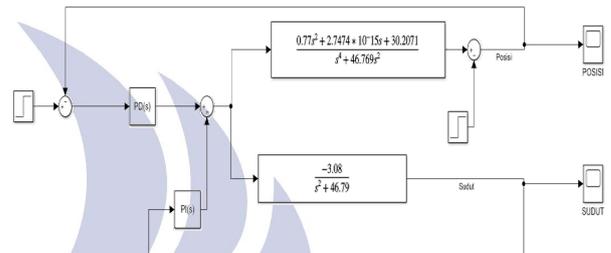
Gambar 7. Respon sudut *gantry crane*

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa respon sistem dari *gantry crane* tanpa kendali mendapatkan hasil yang kurang baik. Pada respon posisi menunjukkan hasil grafik naik yang tidak mencapai *setpoint* yang telah ditentukan. Sedangkan pada respon sudut menunjukkan hasil grafik yang tidak stabil dan menghasilkan banyak gelombang. Maka dari itu untuk

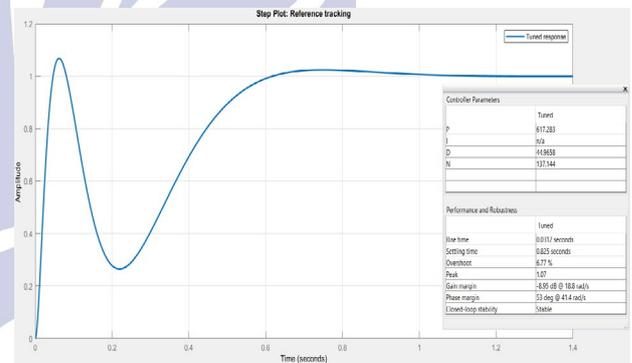
mendapat hasil yang lebih baik dibutuhkan sistem kendali agar respon pada *gantry crane* dapat diperbaiki.

### Perancangan Sistem Kendali

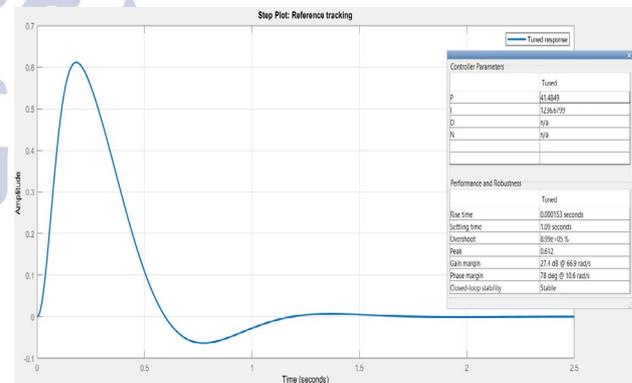
Dalam penelitian ini untuk mendapatkan hasil respon yang baik perlu digunakan kontroler atau pengendali. Pada penelitian ini menggunakan pengendali PD-PI untuk menentukan hasil respon. Pengendali PD digunakan untuk mendapatkan hasil respon posisi pada tolley. Sedangkan pengendali PI digunakan untuk mendapatkan hasil respon sudut. Dalam perancangan kontroler PD-PI untuk mendapatkan nilai parameternya menggunakan metode *auto tuning*. *Software* yang digunakan untuk *auto tuning* adalah Matlab. Untuk nilai PD-PI dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 8. Diagram blok *gantry crane* menggunakan kontroler



Gambar 9. Hasil *auto tuning* kontroler PD



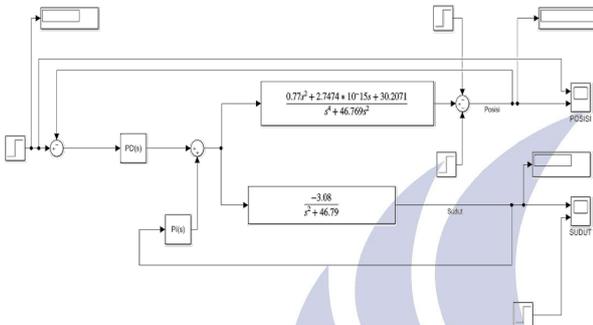
Gambar 10. Hasil *auto tuning* kontroler PI

Pada Gambar 9 merupakan hasil dari metode *auto tuning* kontroler PD. Pada kontroler PD *auto tuning* dilakukan dengan cara *trial* dan *error* untuk mendapatkan nilai parameter terbaik. Sehingga didapatkan nilai P = 617,283 dan nilai D = 44,9658. Pada Gambar 10 merupakan hasil dari metode *auto tuning* dari kontroler PI. Pada metode *auto tuning* yang dilakukan pada

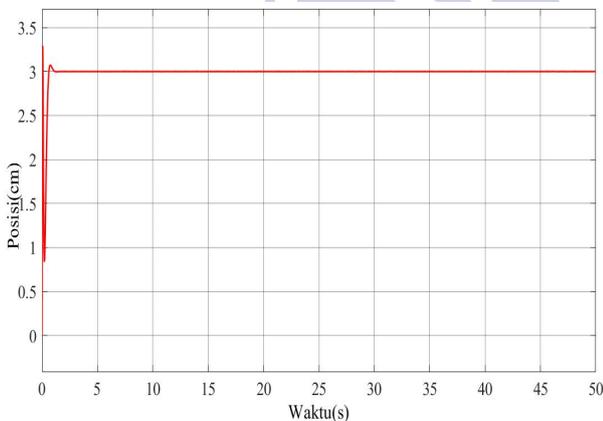
kontroler PI didapatkan nilai parameter  $P = 41,4849$  dan nilai  $I = 1236,6799$ .

### Pengujian Dengan Kontroler PD-PI Menggunakan Setpoint Tetap

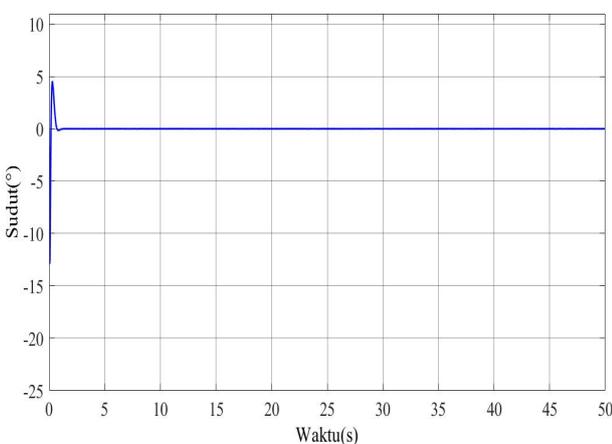
Untuk mengetahui hasil kinerja kontroler PD-PI pada *gantry crane* yang telah dibuat, kemudian dilakukan simulasi menggunakan simulink pada *software* Matlab. Pada pengujian ini dilakukan menggunakan nilai setpoint tetap. Untuk rangkaian Simulink dan respon dapat dilihat pada gambar 11.



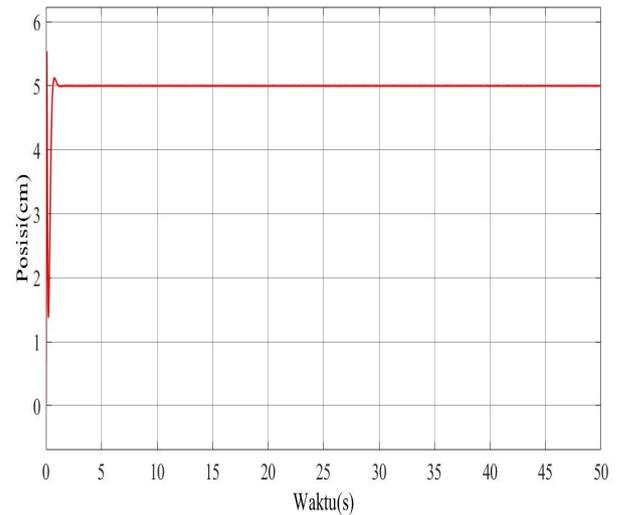
Gambar 11. Rangkaian PD-PI pada Gantry Crane



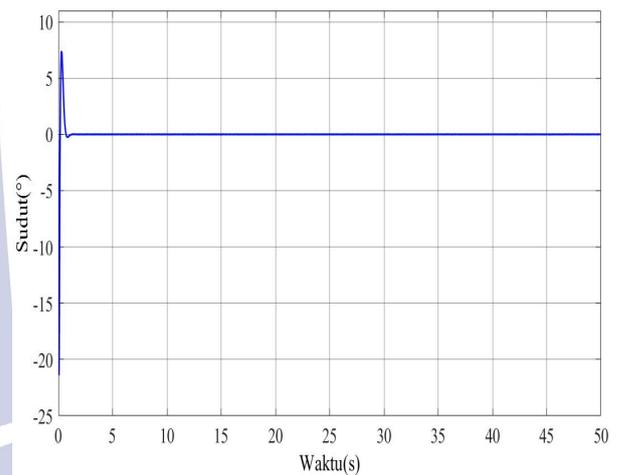
Gambar 12. Respon posisi pada setpoint 3cm



Gambar 13. Respon sudut pada setpoint 3



Gambar 14. Respon posisi pada setpoint 5cm



Gambar 15. Respon sudut pada setpoint 5

Dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan nilai *setpoint* 3cm dan 5cm pada posisi, serta nilai *setpoint* 3 dan 5 pada sudut didapatkan hasil respon sistem seperti pada gambar 12, gambar 13, gambar 14, dan gambar 15.

Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa hasil grafik respon posisi dapat mencapai *setpoint* yang telah ditentukan meskipun terdapat *undershoot*. Pada Gambar 13 yaitu grafik respon sudut juga mendapatkan hasil yang sama yaitu mencapai *setpoint* yang telah ditentukan dengan nilai *setpoint* 3. Untuk Gambar 14 dan Gambar 15 *setpoint* yang digunakan adalah 5. Pada Gambar 14 hasil grafik respon posisi mencapai *setpoint* yang telah ditentukan meskipun pada awalnya terdapat *undershoot*. Sedangkan pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa hasil grafik respon sudut juga mencapai *setpoint* yang telah ditentukan meski pada awal grafik bergerak terdapat *undershoot* dan *overshoot*. Dengan hasil analisa respon sistem seperti tabel 2.

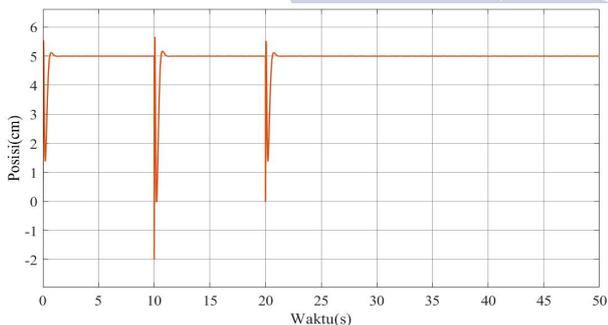
**Tabel 2.** Hasil Simulasi Respon Sistem Gantry Crane dengan Kontroler PD-PI

Parameter	Setpoint				Satuan
	3		5		
	Posisi	Sudut	Posisi	Sudut	
$T_r$	0,031	$1,1 \times 10^{-6}$	0,031	$2 \times 10^{-4}$	detik
$T_s$	0,838	0,641	0,837	0,646	detik
$T_p$	0,056	0,056	0,065	0,065	detik
$M_o$	9,431	36,30	10,56	34,46	%
$E_{ss}$	0,0003	-	$2,4 \times 10^{-5}$	-	%

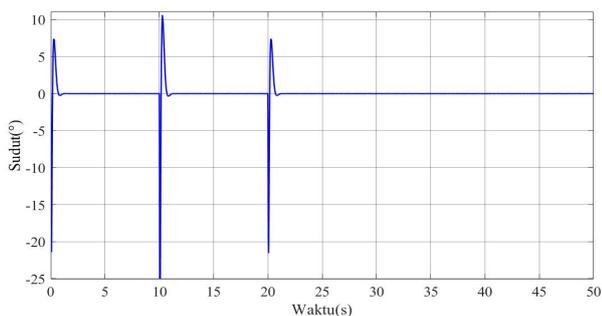
Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa kontroler PD-PI sangat berpengaruh dalam mencapai *setpoint* dan membuat sistem lebih stabil dari pada tanpa menggunakan kontroler. Pada *setpoint* 3cm dan 5cm pada respon posisi mendapatkan hasil yang lebih baik adalah pada *setpoint* 3cm. Sedangkan pada hasil respon sudut risetime yang dihasilkan hampir mendekati 0 yaitu masing masing pada *setpoint* 3 mendapatkan hasil 0,0000011 dan pada *setpoint* 5 mendapatkan hasil 0,0002. Pada kedua *setpoint* yaitu 3 dan 5 masih terdapat *overshoot* dan *undershoot* yang cukup besar, akan tetapi pada error *steady state* tidak terdapat osilasi.

### Pengujian Dengan Kontroler PD-PI Menggunakan Gangguan

Untuk pengujian selanjutnya menambahkan gangguan pada sistem yang telah diberikan kontroler. Gangguan yang diberikan adalah *setpoint* 5 pada detik ke 20 dan detik ke 10. Sehingga untuk hasil respon posisi dan sudut dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 16.** Respon posisi pada *setpoint* 5cm diberikan gangguan



**Gambar 17.** Respon sudut pada *setpoint* 5 diberikan gangguan

Dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan nilai *setpoint* 5° pada posisi dan sudut didapatkan hasil respon sistem seperti pada gambar 16 dan gambar 17. Dengan analisa respon sistem seperti tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Simulasi Respon Sistem Gantry Crane diberikan Gangguan dengan Kontroler PD-PI

Parameter	Setpoint		Satuan
	5		
	Posisi	Sudut	
$T_r$	0,0313	0,00017	detik
$T_s$	20,572	20,626	detik
$T_p$	10,069	10,0541	detik
$M_o$	8,792	40,062	%
$E_{ss}$	0,000084	-	%

Tabel 3 merupakan hasil Analisa grafik respon dengan menggunakan gangguan sebesar 5 dan 7. Pada respon posisi dan sudut terdapat overshoot yang cukup tinggi dikarenakan gangguan yang diberikan sehingga terjadi osilasi meskipun hanya sebentar.

### Perbandingan Hasil Dengan Penelitian Sebelumnya

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari penelitian ini, dilakukan perbandingan dari penelitian terdahulu. Penelitian tersebut anataralain, Muh. Chaerur Rijal, Mochammad Rameli, dan Rusdhianto Efendi menggunakan kendali PD-LQR yang dilakukan pada tahun 2015. Jue Wang, Yoshiyuki Noda, dan Akira Inomata menggunakan kontroler PI dilakukan pada tahun 2015. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.** Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya Menggunakan Kontroler PD-PI

Kendali	$T_r$ (s)	$T_s$ (s)	$T_p$ (s)	$M_o$ %	$E_{ss}$ %
PD-LQR	-	4,9933	-	-	0,0023
PI	-	5,0	-	-	-
PD-PI	0,031	0,838	0,056	9,431	0,0003

(Posisi  
*setpoint*  
3)

Berdasarkan data tabel diatas, dapat diketahui bahwa sistem kontrol PD-PI yang dibuat pada penelitian ini dapat memperbaiki respon dari penelitian sebelumnya. Hal itu dapat dilihat dari hasil nilai  $T_r$ ,  $E_{ss}$ %,  $T_s$ ,  $T_p$ , dan  $M_o$ % yang kecil dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan yang didapat bahwa sistem *anti-sway* pada *Gantry Crane* dengan menggunakan kontroler PD-PI telah berhasil dibuat. Kontroler PD-PI dapat

mengendalikan posisi dan sudut pada *Gantry Crane* yang dilakukan menggunakan simulasi Simulink pada *software* Matlab. Saat di simulasikan sistem dapat dengan cepat menuju *setpoint* yang telah ditentukan, sehingga dapat menstabilkan pergerakan posisi dan sudut pada *Gantry Crane*. Berdasarkan simulasi percobaan yang sudah dilakukan, didapatkan hasil respon yang merujuk pada Tabel 2, respon terbaik sistem didapat pada *setpoint* 3 untuk respon posisi dan sudut. Untuk respon posisi didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) = 0,031 detik, nilai *settling time* ( $t_s$ ) = 0,838 detik, nilai *peak time* ( $t_p$ ) = 0,056 detik, nilai *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 9,431%, dan nilai *error steady state* ( $e_{ss}$ ) = 0,0003%. Sedangkan pada respon sudut didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) =  $1,1 \times 10^{-6}$  detik, nilai *settling time* ( $t_s$ ) = 0,641 detik, nilai *peak time* ( $t_p$ ) = 0,056 detik, nilai *maximum overshoot* ( $m_o$ ) = 36,30%. Pada kontroler PD-PI terdapat *undershoot* yang besar dan mempengaruhi respon pada sudut.

#### Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat saran yang dapat digunakan untuk pengembangan sistem *anti-sway* pada *Gantry Crane*. Dalam menggunakan kontroler PD-PI masih terdapat *undershoot* yang cukup besar. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan kontroler lainnya seperti PID-LQR, PD-ANFIS, Fuzzy-PSO, dan lain lain untuk mendapatkan hasil respon posisi dan sudut yang lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adiyas. I Made Deny Saputra, Wiryajati. I Ketut dan Sianipar. Rismon H. 2014. *Rancang Bangun Prototype "Gantry Crane" Berbasis Analisis Kestabilan Routh Hurwitz Dan Kontrol Robust Menggunakan Spektrum DSO TMS320C6713*. Dielektrika Vol. 1, No. 2. pp:96 – 104.
- Akbar. Mohammad joko, Ramdhani. Mohammad dan Wibowo. Agung Surya. 2016. *Sistem Kendali Anti Sway Overhead Crane*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika (TEKTRIKA) Juli 2016 – Volume 1, Nomor 2.
- Bahri. Saeful dan Permana. Febby Angga. 2017. *Perancangan Prototipe Sistem Kendali Gantry Crane Untuk Meredam Ayunan Secara Realtime Dengan Fuzzy Logic Controller*. Jurnal Elektum. Universitas Muhammadiyah Jakarta Vol. 14 No. 1
- Fahmi. Fuad, Susanto. Erwin, dan Wibowo. Agung Surya. 2019. *Sistem Kendali Anti Sway Gantry Crane Menggunakan Metode*. Universitas Telkom,e-Proceeding of Engineering: Vol.6, No.2 Agustus 2019. pp: 3053
- Ishak. Lisa Fitriani dan Aminudin. Tohir. 2018. *Perancangan Sistem Gantry Crane Dengan Wireless Control Berbasis Arduino*. Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika. Universitas Muhammadiyah Tangerang. Vol.15, No.1, Maret 2018, pp: 9-14.
- Payadnya. I Putu Ade Andre dan Jayantika. I Gusti Agung Ngurah Trisna. 2018. *Panduan Penelitian Eksperimen Beserta Analisis Statistik dengan SPSS*. Sleman: Deepublish, pp: 1
- Rahmawati. Luluk Anjar, Kurniawan. Ekki dan Wibowo. Agung Surya. 2017. *Antiswing Wireless Overhead Crane Menggunakan Metode Kombinasi Fuzzy Logic Dan PD System Sistem Kendali Posisi Dan Sudut Swing Pada Overhead Crane*. Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2017. ITN Malang.
- Rijal. Muh. Chaerur, Rameli. Mochammad dan Efendi. Rusdhianto. 2015. *Optimalisasi Kontroler PD-LQR Dengan Algoritma UPSO Untuk Meningkatkan Performansi Crane Anti Ayun*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII Program Studi MMT-ITS.
- Rynaldo. Bagus Rio.2018. *Pengembangan Two Wheels Self Balancing Robot Dengan PI Controller Berbasis Labview 2014*. Jurnal Teknik Elektro. Univesitas Negeri Surabaya. Volume 07 Nomor 03 Tahun 2018, pp: 127 – 136.
- Sartika. E. Merry dan Sumali. Hardi. 2015. *Kontrol PID Pada Miniatur Plant Crane*. Universitas Kristen Maranatha
- Siyoto. Sandu dan Sodik. M Ali. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Literasi Media Punlishing. Yogyakarta, pp: 23.
- Wang. Jue, Noda. Yoshiyuki dan Inomata. Akira. 2015. *Straight Transfer Control System Using PI Control and Trajectory Planning in Overhead Traveling Crane*. Meijo University, Nagoya, Japan. International Symposium on System Integration (SII).978-1-4673-7242-8/15