

SISTEM KENDALI ANTI SWAY GANTRY CRANE MENGGUNAKAN METODE PID

ANTI SWAY GANTRY CRANE USING PID SYSTEM CONTROL

Fuad Fahmi¹, Erwin Susanto, S.T., M.T., Ph.D.², Agung Surya Wibowo, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹fuadfahmi@student.telkomuniversity.ac.id, ²erwinelektro@telkomuniversity.ac.id,

³agungsw@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Suatu keberhasilan perusahaan pada bidang industri tidak lepas dari kegiatan yang berkaitan dengan teknologi. Oleh karena itu, banyak perusahaan industri melakukan inovasi terhadap teknologi untuk meningkatkan produktivitasnya. Salah satu teknologi yang mempermudah mobilitas pada saat produksi adalah *crane*. Permasalahan yang biasa terjadi pada saat pengoperasian *crane* yakni timbulnya *sway* (ayunan) dari beban yang diangkut. *Sway* yang terjadi pada *crane* dapat berakibat pada kerusakan barang yang diangkut. Hal ini yang membuat perusahaan industri melakukan pengembangan pada *crane* agar mendapatkan *crane* yang sesuai.

Anti *sway gantry crane* dapat menjadi salah satu solusi permasalahan yang biasa terjadi di perusahaan industri untuk meminimalisir risiko kerusakan pada beban yang diangkut. Hal tersebut yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini untuk mengatasi *sway* pada beban agar dapat memudahkan dalam proses mobilitas kegiatan produksi perusahaan.

Pada penelitian ini, sistem *Anti Sway Gantry Crane* dirancang dengan menggunakan metode kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) untuk dapat menstabilkan sudut tali pendulum dan posisi *cart*. Sistem yang dirancang juga dapat mempertahankan posisi dan sudut kestabilan ketika diberi gangguan maupun tanpa diberi gangguan. Hasil dari pengujian dan analisa sistem *Anti Sway Gantry Crane* menunjukkan bahwa kendali PID dengan nilai $K_p=1$ dan $K_d=8$ untuk sudut dan $K_p=0,05$ dan $K_i=0,01$. Sistem yang tidak menggunakan *anti sway* mencapai kestabilan sudut dengan waktu 82 detik, sedangkan sistem *anti sway* dapat mencapai kestabilan dengan waktu 7,8 detik.

Kata Kunci : *Anti sway, gantry crane, Proportional-Integral-Derivative*

ABSTRACT

A company's success in the industrial field can not be separated from activities related to technology. Therefore, many industrial companies innovate technology to increase their productivity. One technology that facilitates mobility during production is a crane. The usual problem when operating a crane is the emergence of a sway (swing) from the load being transported. Sway that occurs at the crane can result in damage to the goods transported. This makes the industrial company develop the crane to get the appropriate crane.

Anti-sway gantry cranes can be one of the solutions to problems that commonly occur in industrial companies to minimize the risk of damage to the loads carried. This is the basis of this research to overcome sway on the burden to ease the mobility process of the company's production activities.

In this study, the Anti Sway Gantry Crane system was designed using the Proportional-Integral-Derivative (PID) control method to stabilize the pendulum rope angle and cart position. The system designed can also maintain a stable position and angle when disturbed or without interference. The results of testing and analysis of the Anti Sway Gantry Crane system show that the PID control with $K_p = 1$ and $K_d = 8$ values for angles and $K_p = 0.05$ and $K_i = 0.01$. Systems that do not use anti-sway achieve stability with 82 seconds, while anti-sway systems can achieve stability with 7.8 seconds.

Keywords : *Anti sway, gantry crane, Proportional-Integral-Derivative*

1. Pendahuluan

Teknologi merupakan salah satu aspek penting yang menunjang keberhasilan suatu perusahaan khususnya dalam bidang industri. Semakin besar kebutuhan akan teknologi yang mumpuni, semakin banyak perusahaan yang berinovasi untuk meningkatkan produktivitasnya. Pada bidang industri dibutuhkan suatu alat yang mampu mempermudah mobilitas kegiatan produksi, salah satunya adalah *crane*.

Ada banyak kelebihan yang menjadi faktor perusahaan industri menggunakan *crane* seperti rasio muatan, kecepatan gerak, keamanan, biaya yang ekonomis dan lainnya. Bagaimanapun, waktu pengoperasian yang optimal menjadi salah satu syarat terpenting, seperti memindahkan muatan ke posisi yang ditentukan dengan cepat dan tepat tanpa tabrakan dengan peralatan lain. Sehingga, beban yang dipindahkan memiliki sudut ayunan seminimal mungkin [1]. Oleh karena itu, banyak perusahaan industri melakukan inovasi pada *crane* agar lebih mudah dan aman dalam pengoperasiannya.

Pada proses kegiatan produksi, dibutuhkan *crane* yang sesuai. Berbagai upaya dalam mengendalikan sistem *gantry crane* berbasis sistem *open-loop* diusulkan. Misalnya, waktu optimal sistem *open-loop* diterapkan pada *crane* oleh banyak peneliti seperti yang dibahas dalam [2,3]. Mereka mendapatkan hasil yang jelek dikarenakan

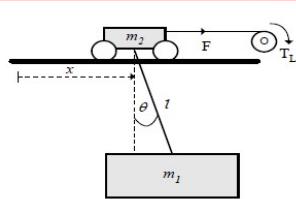
sistem *open-loop* sensitif terhadap parameter sistem (misalnya panjang tali) dan tidak dapat mengimbangi gangguan angin.

Sistem anti *sway* dapat menjadi salah satu solusi permasalahan *sway* yang kerap kali terjadi pada *gantry crane*. Sistem anti *sway* bekerja dengan mengendalikan pergerakan motor *crane* sesuai dengan permasalahan yang terjadi. Sistem ini dengan cepat dapat mengurangi dan menghilangkan *sway* pada beban saat *crane* dioperasikan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengatasi posisi *sway* pada beban menggunakan anti *sway* pada *gantry crane* dengan metode PID sistem kendali agar dapat memudahkan dalam proses mobilitas kegiatan produksi perusahaan. Pemilihan metode PID pada sistem ini didasarkan pada penggunaan metode ini dapat diimplementasikan langsung ke alat dengan menentukan parameter yang ditentukan.

2. Dasar Teori

2.1 Gantry Crane

Gantry Crane merupakan suatu alat pada bidang industri dengan karakteristik mempunyai penyangga pada kedua sisinya. Alat ini biasa digunakan untuk memindahkan benda bermuatan berat dari tempat satu ke tempat lainnya. Alat ini harus memiliki kemampuan memindahkan suatu benda dengan tepat dan tidak menimbulkan kerusakan pada benda tersebut. Pada dasarnya *crane* bergerak melintasi jalur yang ditetapkan, sedangkan tali yang terhubung dengan *crane* dapat menaikkan dan menurunkan benda.



Gambar 1. Ilustrasi Gerakan Crane

Gambar 1. menunjukkan mekanisme pergerakan *crane* di mana m_1 , m_2 , l , x , θ , B , g dan F melambangkan masing-masing massa muatan, massa kereta, panjang kabel, posisi horizontal kereta, sudut kemiringan, koefisien redaman, konstanta gravitasi dan penggerak.

2.2 Kendali PID

Kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan kontroler dengan adanya umpan balik yang biasa dipakai pada sistem kendali di bidang industri. Sistem kendali PID memiliki tiga parameter, yaitu Proporsional (P), Integral (I), dan Derivatif (D). Kendali PID secara kontinu menghitung nilai kesalahan atau *error* yang merupakan selisih dari *setpoint* yang diinginkan dan variabel proses terukur [5]. Persamaan umum kendali PID dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Dengan:

- K_p : Gain proporsional
- K_i : Gain integral
- K_d : Gain derivatif
- e : $error = Y_{sp} - Y_m$
- Y_{sp} : *setpoint*
- Y_m : Variabel proses
- t : Waktu

Fungsi alih PID dalam bentuk domain Laplace dapat ditulis sebagai berikut:

$$L(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (\text{II-2})$$

Dengan :

s : Frekuensi bilangan kompleks

Tiga parameter dari kendali PID memiliki output dengan karakteristik sebagai berikut:

- Parameter P: sebanding dengan *error* pada t saat ini.
- Parameter I: sebanding dengan integral dari *error* hingga t saat ini, yang dapat diartikan sebagai akumulasi *error* sebelumnya.
- Parameter D: dapat diartikan sebagai kemungkinan *error* yang akan datang.

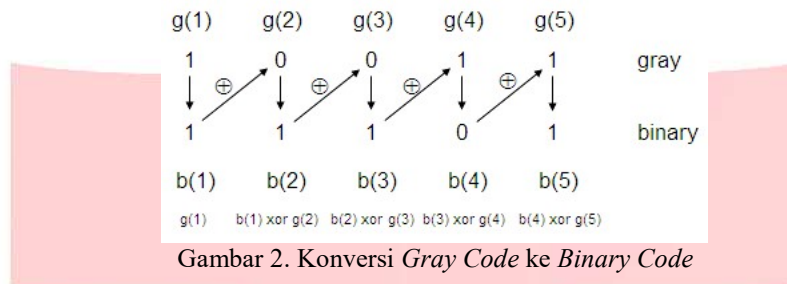
2.3 Rotary Encoder

Rotary Encoder merupakan suatu komponen yang dapat membaca pergerakan posisi maupun sudut. Pada umumnya *rotary encoder* menggunakan sensor optik untuk menghasilkan pulsa yang dapat diterjemahkan menjadi gerakan, posisi, dan sudut. Sehingga informasi posisi maupun sudut poros benda berputar dapat diolah menjadi kode digital yang diteruskan oleh rangkaian kendali.

2.3.1 Rotary Encoder

Absolute Rotary Encoder menggunakan cakram atau piringan dalam bentuk daerah terang dan gelap dalam trek yang berbeda sehingga menghasilkan kode digital yang menyatakan posisi tertentu. Pengaturan ini ditandai dengan jumlah cincin dan segmen pada tiap cincinnya. Pada cincin pertama yang berada paling dalam memiliki satu segmen transparan dan satu segmen gelap, kemudian cincin kedua memiliki 2 segmen transparan dan 2 segmen gelap, kemudian pada segmen selanjutnya yaitu 2 kali dari jumlah segmen cincin sebelumnya. Contohnya pola pada piringan *absolute rotary encoder* yang memiliki 16 cincin, maka jumlah keseluruhannya memiliki 32767 segmen.

Pembacaan sensor *absolute rotary encoder* menghasilkan kode digital kumpulan bit dengan keluaran *gray code*. Diperlukan konversi *gray code* menjadi *binary code* kemudian diubah dalam bentuk desimal untuk mempermudah dalam pengoperasiannya. Gambar 2. menjelaskan konversi dari *gray code* menjadi *binary code*.



Dilihat dari Gambar 2. di atas $g(1)$ merupakan bit ke-5 *gray code* dan $b(1)$ merupakan bit ke-5 *binary code*, untuk cara konversinya dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. bit ke-5 *binary code* = bit ke-5 *gray code*
2. bit ke-4 *binary code* = bit ke-5 *binary code* XOR bit ke-4 *gray code*
3. bit ke-3 *binary code* = bit ke-4 *binary code* XOR bit ke-3 *gray code*
4. bit ke-2 *binary code* = bit ke-3 *binary code* XOR bit ke-2 *gray code*
5. bit ke-1 *binary code* = bit ke-2 *binary code* XOR bit ke-1 *gray code*

Setelah konversi *gray code* ke *binary code*, maka nilai *binary code* dikonversikan menjadi bentuk desimal. Dilihat pada Gambar 2. terdapat nilai *binary code* 11101, kemudian nilai tersebut dikonversikan menjadi desimal dengan cara menjumlahkan semua hasil perkalian bit dengan nilai 2^n . Misal, pada *binary code* 11101, bit ke-1 bernilai 1 dikalikan dengan 2^0 , bit ke-2 bernilai 0 maka hasil tetap dihitung 0, setelah itu semua hasil perkalian bit dijumlahkan untuk menghasilkan nilai desimal.

2.3.2 Rotary Encoder

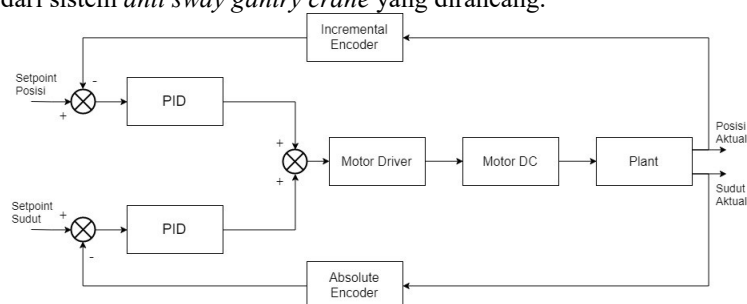
Incremental Rotary Encoder menghasilkan jumlah pulsa tertentu dalam satu putarannya. Sensor ini memiliki dua tipe yaitu dapat berupa pulsa *single (channel A)* atau dua baris pulsa (*channel A* dan *B*). Piringan terluar dikenal dengan *channel B* dan piringan di dalamnya dikenal dengan *channel A*. Putaran pada poros yang terhubung dengan piringan encoder akan menghasilkan sinyal pulsa dan perbandingan fase antara *channel A* dan *channel B* menghasilkan arah putar. Jika *channel A* mendahului *channel B* maka perputaran searah jarum jam sehingga jumlah pulsa akan bertambah dan ketika *channel B* mendahului *channel A* perputaran berlawanan dengan arah jarum jam sehingga jumlah pulsa akan berkurang.

Dengan menghitung jumlah pulsa yang terjadi terhadap resolusi piringan maka putaran dapat diukur. Untuk mengetahui arah putaran, dengan mengetahui *channel* mana yang *leading* terhadap *channel* satunya dapat kita tentukan arah putaran yang terjadi karena kedua *channel* tersebut akan selalu berbeda fasa seperempat putaran (*quadrature signal*).

3. Perancangan Sistem

3.1 Diagram Blok

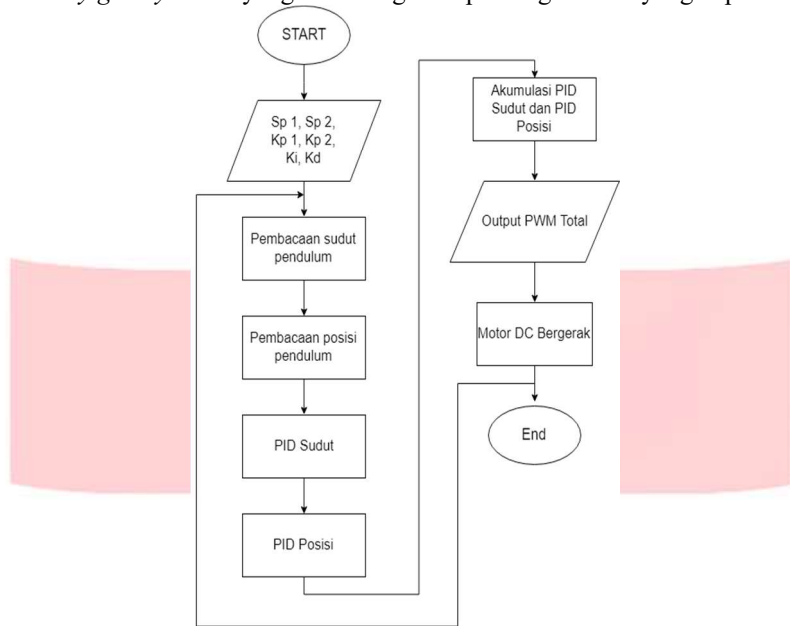
Pada sistem ini *input* yang diperoleh sensor *incremental rotary encoder* akan dapat membaca posisi kereta, sedangkan sudut kemiringan akan menjadi *input* pada sensor *absolute rotary encoder*. Pada Gambar 3. dapat dilihat diagram blok dari sistem *anti sway gantry crane* yang dirancang.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Anti Sway Gantry Crane

3.2 Diagram Alir

Pada sistem *anti sway gantry crane* yang dirancang terdapat diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.

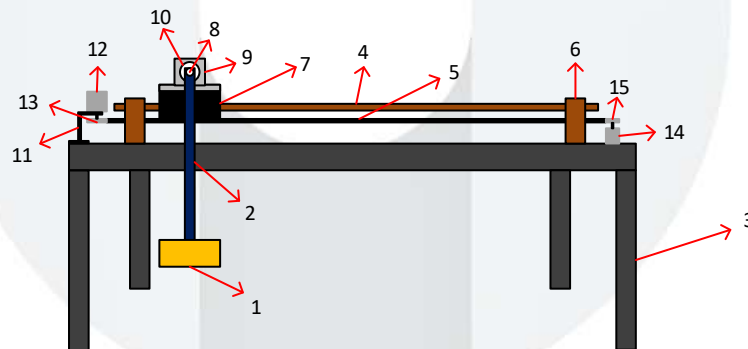


Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Dapat dilihat dari diagram alir di atas pada Gambar 4., pada tahap pertama nilai Kp, Ki, dan Kd dimasukkan sesuai dengan yang telah ditentukan sebelumnya, sedangkan *setpoint* diprogram pada sudut 0° dan posisi kereta pada 0 cm. Setelah itu sensor *absolute rotary encoder* akan membaca sudut pendulum dan sensor *incremental rotary encoder* akan membaca posisi kereta. Dari data yang telah diolah dari kedua sensor akan menghasilkan masing-masing nilai PWM. Kedua nilai PWM tersebut diakumulasi untuk menentukan pergerakan posisi kereta dan mengatur kemiringan sudut pendulum saat bertranslasi.

3.3 Desain Mekanik

Dalam perancangan desain mekanik dibuat dari merancang sistem lintasan *crane* untuk bertranslasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Mekanik Sistem

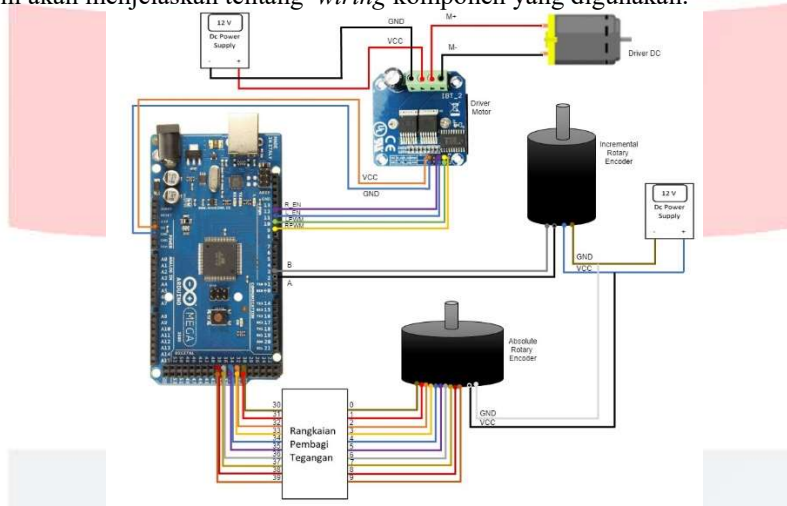
Pada Tabel I. di bawah ini menjelaskan konstruksi komponen pada sistem yang terdapat pada Gambar 5.
Tabel I. Keterangan Desain Mekanik Sistem

No.	Fungsi
1	Beban Pendulum
2	Batang Pendulum
3	Besi Penyangga
4	Lintasan Kereta
5	Belt penghubung sensor dan shaft motor dc dengan kereta
6	Penyangga Lintasan
7	Sebagai penggerak kereta

8	Penghubung <i>shaft</i> sensor <i>absolute rotary encoder</i> dengan batang pendulum
9	Tempat peletakan sensor <i>absolute rotary encoder</i>
10	Sensor sudut <i>absolute rotary encoder</i>
11	Tempat peletakan sensor <i>incremental rotary encoder</i>
12	Sensor posisi <i>incremental rotary encoder</i>
13	Penghubung <i>timing belt</i> dan <i>incremental rotary encoder</i>
14	Aktuator Motor DC
15	Penghubung <i>timing belt</i> dengan Motor DC

3.3 Perancangan Elektronika Sistem

Pada bagian ini akan menjelaskan tentang *wiring* komponen yang digunakan.

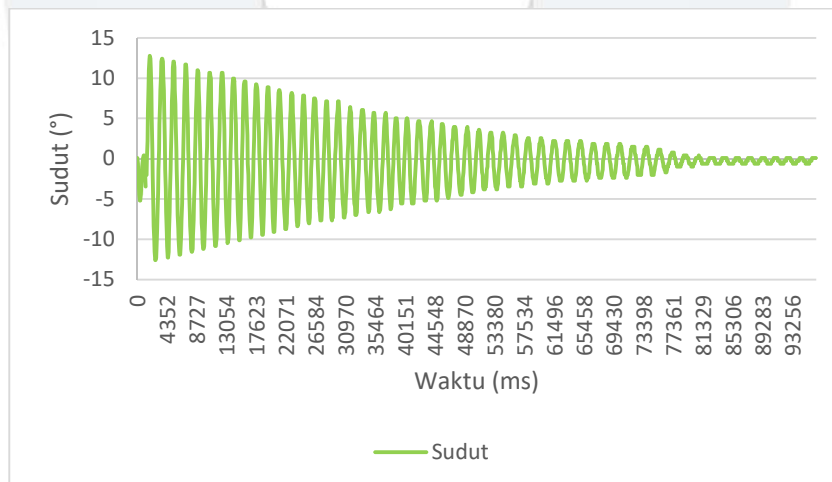


Gambar 6. *Wiring* Komponen Arduino Mega 2560

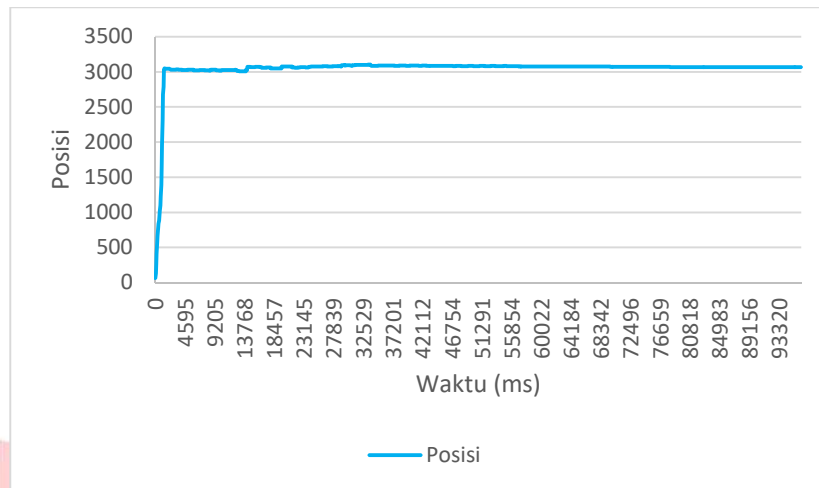
4. Pengujian dan Analisa

4.1 Pengujian Tanpa Menggunakan Kendali PID

Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui respons sudut dan posisi terhadap waktu sebelum diberikan metode kendali PID. Pada pengujian ini *setpoint* untuk posisi *cart* ditentukan dengan nilai 2500 *counter*. Setelah itu dilakukan pengujian untuk melihat simpangan sudut terjauh yang dihasilkan dan posisi *cart* pada saat tidak menggunakan metode kendali PID. Hasil pengujian tersebut dapat mengetahui berapa lama sistem mencapai kestabilan.



Gambar 7. Grafik respons sudut sistem tanpa kendali PID



Gambar 8. Grafik respons posisi sistem tanpa kendali PID

Berdasarkan pada Gambar 7. dan Gambar 8. dapat dilihat bahwa sistem tanpa menggunakan kendali PID memiliki sudut simpangan terjauh sebesar $-12,59^\circ$ dan membutuhkan waktu 82 detik untuk mencapai kestabilan. Sedangkan posisi sistem tanpa menggunakan kendali PID melebihi dari *setpoint* yang ditentukan pada *counter* 2500. Sehingga diperlukan metode kendali PID agar simpangan sudut $<10^\circ$ dan posisi *cart* mendekati dengan *setpoint*.

4.2 Pengujian dengan Mengubah Parameter PID

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan perancangan nilai K_p , K_i dan K_d sistem untuk mendapatkan respons terbaik agar sistem dapat mencapai *setpoint* dan kestabilan. Pada pengujian ini dilakukan pengujian parameter PID pada sudut pendulum dan posisi balok *cart*.

Tabel II. Hasil Pengujian Parameter PID Sudut terhadap Waktu

No	K_p	K_d	Waktu (detik)	Simpangan terjauh ($^\circ$)
1.	1	1	21,8	$6,69^\circ$
2.	4	1	10,9	$5,98^\circ$
3.	8	1	9,2	$5,98^\circ$
4.	1	4	15,2	$5,63^\circ$
5.	4	4	9,9	$3,75^\circ$
6.	8	4	11,1	$5,63^\circ$
7.	1	8	7	$4,22^\circ$
8.	4	8	9,4	$7,04^\circ$
9.	8	8	8,7	$4,04^\circ$

Berdasarkan pada Tabel II. di atas dapat dilihat bahwa pada saat nilai $K_p=4$ dan nilai $K_d=4$ mencapai kestabilan setelah 9,9 detik dan memiliki simpangan terjauh sebesar $3,75^\circ$. Namun pada saat nilai $K_p=1$ dan nilai $K_d=8$ sistem dapat mencapai kestabilan setelah 7 detik dan memiliki simpangan terjauh sebesar $4,22^\circ$. Sehingga pemilihan nilai K_p dan K_d yang sesuai dengan sistem yang dirancang yaitu dengan $K_p=1$ dan $K_p=8$. Pemilihan nilai K_p dan K_d ini dilandaskan dengan parameter respons sudut pendulum terhadap waktu, sehingga pada nilai $K_p=1$ dan $K_d=8$ membutuhkan waktu lebih cepat untuk mencapai kestabilan dibandingkan dengan nilai yang lainnya dan memiliki simpangan sudut terjauh yang tidak terlalu besar. Untuk mengetahui respons posisi terhadap waktu dapat dilihat pada Tabel III.

Tabel III. Hasil Pengujian Parameter PID Posisi terhadap Waktu

No	K_p	K_i	Waktu (detik)	Posisi (counter)
1.	0,1	0,01	14,2	5104
2.	0,01	0,01	23,8	2317
3.	0,05	0,01	7,2	2623
4.	0,05	0,1	12,8	3236

Hasil pengujian pada Tabel III. dapat disimpulkan bahwa nilai $K_p=0,05$ dan $K_i=0,01$ dapat mendekati nilai *setpoint* yang ditentukan dengan *counter* 2500. Meskipun nilai $K_p=0,01$ dan $K_i=0,01$ dapat mendekati nilai *setpoint* yang ditentukan, namun waktu yang dibutuhkan sistem mencapai *setpoint* membutuhkan waktu yang lama yaitu 23,8 detik. Sehingga didapatkan nilai $K_p=0,05$ dan $K_i=0,01$ agar sistem dapat mencapai posisi yang diinginkan dengan waktu yang relatif cepat.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian keluaran sensor *absolute rotary encoder* diperoleh nilai *error* ketika dibandingkan dengan pengukuran dengan menggunakan busur derajat yaitu sebesar $0,18^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dapat bekerja dengan baik.
2. Berdasarkan hasil pengujian *motor driver*, hubungan antara PWM dengan keluaran tegangan yang dihasilkan mendekati linier. Hal ini menunjukkan bahwa *driver motor* dapat digunakan.
3. Berdasarkan hasil pengujian sistem ketika diberi gangguan maupun tanpa diberi gangguan dapat mencapai *setpoint* dan kestabilan meskipun tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
4. Sistem yang tidak menggunakan *anti sway* mencapai kestabilan sudut dengan waktu 82 detik, sedangkan sistem *anti sway* dapat mencapai kestabilan dengan waktu 7,8 detik.
5. Hasil dari *trial and error* untuk mencari nilai K_p , K_i dan K_d diperoleh parameter PID untuk menstabilkan sudut dengan nilai $K_p=1$ dan $K_d=8$ dan parameter PID untuk mencapai *setpoint* posisi yang ditentukan dengan nilai $K_p=0,05$ dan $K_i=0,01$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diantong Liu a, Jianqiang Yi, Dongbin Zhao, Wei Wang “Adaptive sliding mode fuzzy control for a two-dimensional overhead crane”, *IEEE international Conference on Robotics and Automation*, 2547-2552, 2001
- [2] G.A. Manson, “Time-optimal control of and overhead crane model”, *Optimal Control Applications & Methods*, Vol. 3, No. 2, 1992, pp. 115-120.
- [3] J. Auernig, and H. Troger, “Time optimal control of overhead cranes with hoisting of the load”, *Automatica*, Vol. 23, No. 4, 1987, pp. 437-447.
- [4] H.M. Omar, “Control of gantry and tower cranes”, *Ph.D. Thesis*, M.S. Virginia Tech, 2003.
- [5] M. Araki, “PID Control”, *Control Systems Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 2-3.
- [6] Arduino, Arduino Mega 2560. <https://www.arduino.cc>. Diakses 24 November 2018.
- [7] Thaoyu Electronics, Motor Driver IBT-2. <https://www.hotmcu.com>. Diakses 24 November 2018.
- [8] Sgmada, “Datasheet RS-775”, pp 1.
- [9] Autonics, “Datasheet EP50S”, pp 48-52.
- [10] BEISensors, Incremental Rotary Encoder GHM3. <https://www.beisensors.com>. Diakses 24 November 2018.

