

SISTEM KENDALI ANTI SWAY OVERHEAD CRANE

Mohammad joko Akbar¹, Mohammad Ramdhani¹, Agung Surya Wibowo²

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

¹jokoakbar@students.telkomuniversity.ac.id, ²mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id,

³agungsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Persaingan yang ketat dalam bidang industri membuat banyak perusahaan berlomba-lomba berinovasi untuk meningkatkan produktivitas pabriknya. Salah satunya dalam hal mobilitas alat berat, yaitu pengoperasian *crane*. *Sway* merupakan permasalahan yang kerap timbul pada saat pengoperasian *crane*. *Sway* adalah ayunan dari beban yang ditimbulkan saat motor *crane* melakukan percepatan atau perlambatan. Pengoperasian *crane* yang aman dan terkendali merupakan sesuatu yang diinginkan oleh perusahaan.

Anti Sway Overhead Crane merupakan suatu inovasi yang dibutuhkan oleh perusahaan yang berlatar belakang alat berat dalam pengoperasian *crane*. *Anti Sway Overhead Crane* merupakan prototipe yang menggunakan sistem anti *sway* dalam mengatasi *sway* yang terjadi pada saat pengoperasian *crane*. Sistem anti *sway* dirancang dengan metode sistem kendali *Proportional Derivative*. Sistem anti *sway* ini memanipulasi pergerakan arah motor berdasarkan *sway* yang terjadi pada beban. Kecepatan motor juga diatur berdasarkan besar sudut *sway*. Sistem kendali *Proportional Derivative* akan mempercepat rise time dan settling time sistem.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengoperasian prototipe *crane* dengan kondisi tanpa sistem anti *sway* dan dengan sistem anti *sway*. Pada dua kondisi ini akan dilihat perbedaannya. Pada pengujian yang dilakukan, terlihat terdapat perbedaan waktu osilasi yang terjadi. sistem anti *sway* bekerja dengan baik dalam mengurangi waktu osilasi yang terjadi pada beban. Hal ini membuktikan bahwa sistem mempercepat kestabilan benda pada saat *sway* terjadi.

Kata Kunci: *Overhead Crane*, Arduino UNO, Sistem Kendali PD, Pendulum.

Abstract

Intense competition in the field of industry many companies are competing to innovate to improve the productivity of the factory. One of them in terms of machine mobility, which is the operation crane. Sway is a problem that often arise during crane operation. Sway is a swing from being generated when a motor crane accelerates or decelerates. Safe and controlled crane operation is something the company wants.

Anti Sway Overhead Crane is an innovation needed by companies with heavy equipment background in crane operation. *Anti Sway Overhead Crane* is a prototype that uses anti sway system to overcome sway that occurs during crane operation. The anti sway system is designed by *Proportional Derivative* control system method. This anti sway system manipulates the motion of the motor direction based on sway that occurs at the load. The speed of the motor is also arranged based on the large sway angle. *Proportional Derivative* control system will accelerate the rise time and settling time of the system.

Testing conducted is testing the operation of prototype crane with condition without anti sway system and with anti sway system. In these two conditions will be seen the difference. In the test performed, there is a difference in oscillation time that occurs. The anti sway system works well in reducing the oscillation time that occurs in the load. This proves that the system accelerates the stability of the object when it happens.

Keywords: *Overhead Crane*, Arduino UNO, PD Controller, Pendulum.

1. Pendahuluan

Crane merupakan alat yang sangat populer dalam bidang industri. Pengoperasian *crane* biasanya dilakukan untuk memindahkan dan mengangkat barang berat.

Perusahaan yang banyak menggunakan *crane* salah satunya adalah perusahaan mobil, perusahaan besi, perusahaan mesin dan sebagainya.

Tentulah perusahaan ini menginginkan *crane* yang aman dan mudah untuk dikendalikan dalam

pengoperasiannya. Inovasi terkait *crane* yang diinginkan perusahaan pun terus berkembang.

Banyak pengembangan yang dilakukan dalam mewujudkan *crane* yang sesuai. Salah satu pengembangan yang paling populer adalah pengembangan di bidang *sway* (ayunan) pada beban. Contoh pengembangan yang sudah ada adalah Liji Ramesan Santhi, Laila Beebi M, (2014) “Position Control and Anti-Swing Control of *Overhead Crane* Using LQR”, Zhao, Y., & Gao, H. (2012). “Fuzzy-model-based control of an *overhead crane* with input delay and actuator saturation.” Dan masih banyak lagi. Pada saat pengoperasian *crane*, akan terjadi percepatan dan perlambatan motor *crane*.

Dengan percepatan dan perlambatan yang terjadi maka timbul *sway* pada beban yang diangkut. *Sway* pada beban merupakan hal yang klasik dan paling menantang dalam permasalahan pengoperasian *crane*. Dikarenakan *sway* pada beban berisiko mengakibatkan kerusakan properti perusahaan dan meningkatkan tingkat kecelakaan kerja. Para pekerja biasanya hanya mengandalkan intuisi dan pengalaman dalam mengoperasikan *crane*.

Sistem anti *sway* dapat menjadi solusi dalam permasalahan *sway* pada *crane*. Sistem anti *sway* bekerja dengan memanipulasi pergerakan motor *crane*. Sistem anti *sway* dapat dengan cepat mengurangi dan menghilangkan *sway* pada pengoperasian *crane*. Di dalam sistem anti *sway* membutuhkan sistem kendali yang sesuai dengan permasalahan yang terjadi. Sistem kendali yang dibutuhkan merupakan sistem kendali yang memiliki respon yang tinggi serta dapat memproses beberapa input sekaligus.

2. Dasar Teori

2.1. Perancangan Sistem

Desain sistem atau perancangan sistem adalah merancang atau mendesain suatu sistem yang baik, yang isinya adalah langkah-langkah operasi dalam proses pengolahan data dan prosedur untuk mendukung operasi sistem. Desain ini digunakan sebagai acuan gambaran umum sistem atau mendefinisikan cara kerja sistem secara singkat dan umum. Perancangan ini terdiri dari diagram blok serta fungsi dan fitur.

2.1.1. Perancangan Sistem Perangkat Keras

Pada Gambar 1, diperlihatkan bahwa prototipe dibuat dengan menggunakan mikrokontroler, *power supply*, driver motor L298N, MPU 6050/GY-87, pengendali manual, dan dua buah motor DC. Sebuah mikrokontroler digunakan sebagai otak pengoperasian sistem yang akan dibuat.

Mikrokontroler akan menjadi pusat dan penghubung antara masukan dan keluaran sistem. Platform mikrokontroler yang akan digunakan adalah Arduino Mega 2560. *Power supply* digunakan sebagai penyuplai sumber listrik untuk mikrokontroler. *Driver Motor L298N* juga digunakan sebagai penghubung antara motor dan mikrokontroler. Motor yang digunakan merupakan motor DC 12 volt. Motor DC yang digunakan berjumlah 2 buah. Untuk mengendalikan pergerakan *crane* sistem menggunakan pengendali analog. Sensor MPU6050 juga digunakan untuk mendapatkan nilai sudut yang akan digunakan dalam perhitungan.

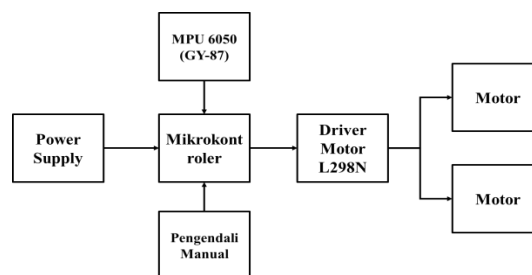
2.1.2. Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak sistem anti *sway* diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino, yaitu bahasa C yang meliputi pengaturan PWM, polaritas tegangan motor DC, MPU 6050 (sensor *gyroscope* dan sensor *accelerometer*), dan sistem anti *sway*.

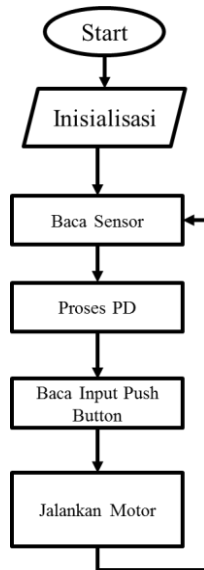
Pada Gambar 2 dijelaskan bagaimana sistem akan bekerja pada saat pengoperasian *crane*. *Start* merupakan awal sistem dijalankan. Setelah sistem dijalankan maka sistem akan melakukan inisialisasi berupa inisialisasi *push button*, sensor, dan pin masukan dan keluaran pada arduino. Selanjutnya sistem akan membaca sensor yang sudah dikalibrasi pada proses inisialisasi.

Setelah membaca nilai sensor maka sistem akan membaca masukan dari *push button*. Jika terdapat masukan dari *push button* maka motor akan dijalankan sesuai dengan masukan yang diterima. Setelah itu sistem kendali PD akan memproses sudut yang masuk kedalam sistem.

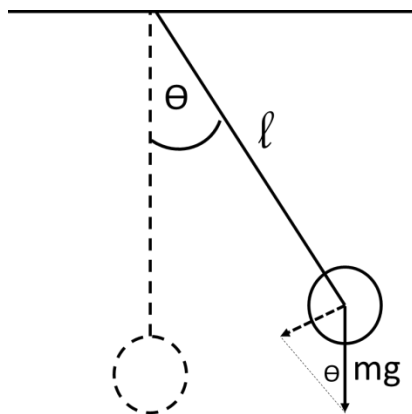
Setelah itu sistem akan kembali membaca sudut yang diterima oleh sensor, lalu sistem akan membaca masukan dari *push button*, jika tidak ada masukan dari *push button* maka motor akan dijalankan sesuai dengan keluaran yang dihasilkan oleh proses sistem kendali PD. Sistem akan terus-menerus dalam proses *looping*. Pada intinya sistem kendali PD akan menyesuaikan pergerakan motor dan kecepatan motor DC sesuai dengan arah dan besar sudut yang terjadi pada beban.



Gambar 1. Desain Perangkat Keras



Gambar 2. Desain Perangkat Lunak Sistem



Gambar 3. Ilustrasi Gerakan Pendulum Sederhana

3. *Proportional Derivative (PD)*

Kendali PD merupakan sebuah sistem yang menggabungkan *proportional* dan *derivative*. Kendali PD menghitung nilai eror secara terus-menerus untuk sebagai pembanding antara set point dengan nilai variabel proses yang terukur. Pada aksi kendali *proportional*, keluaran sistem kendali akan berbanding lurus dengan masukan dan eror, dan menghasilkan tanggapan yang cepat. Akan tetapi overshoot meningkat sehingga sistem cukup bermasalah saat awal beroperasi. Sedangkan aksi *derivative* bekerja sesuai laju perubahan eror. Oleh karena itu, kendali ini berfungsi mereduksi laju perubahan eror sehingga menjaga kestabilan sistem.[1]

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.

Persamaan umum sebuah PD adalah sebagai berikut:

$$U(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

Dari Persamaan diatas maka bias didapat fungsi alihnya yaitu sebagai berikut:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d S \tag{2}$$

- U(t) = Keluaran kendali
- e(t) = Selisih antara *set point* dengan keluaran
- K_p = Konstanta *Proportional*
- K_d = Konstanta *Derivative* = K_p x T_d
- T_d = Waktu *Derivative*

4. **Pemodelan Pendulum**

Untuk mendapatkan nilai K_p dan K_d dalam sistem kendali *Proportional Derivative*, pendekatan yang dilakukan adalah dengan melihat pemodelan pendulum. Osilasi *sway* yang terjadi di dalam sistem *overhead crane* dapat diperkirakan dengan pemodelan osilasi pada pendulum sederhana. Pada Gambar 3 diperlihatkan ilustrasi gerakan pendulum sederhana

Untuk gerakan rotasi, $\tau = I\alpha$, dimana $\alpha = \ddot{\theta}$ (percepatan sudut), maka

$$-(mg \sin \theta)l = I\ddot{\theta} = ml\ddot{\theta} \tag{3}$$

$$-g \sin \theta = l\ddot{\theta} \tag{4}$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0 \tag{5}$$

Dimana
 g = gravitasi
 l = panjang tali
 $\ddot{\theta}$ = percepatan sudut
 θ = sudut
 Untuk θ yang kecil, $\sin \theta \approx \theta$, maka persamaannya akan menjadi

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = 0 \tag{6}$$

Dari persamaan diatas dapat dijadikan fungsi transfer yaitu

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \theta = T \tag{7}$$

$$(s^2 + \frac{g}{l})\theta(s) = T(s) \tag{8}$$

$$\frac{\theta(s)}{T(s)} = \frac{1}{(s^2 + \frac{g}{l})} \quad (9)$$

Persamaan (4) sama dengan persamaan osilasi teredam harmonik sederhana:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (10)$$

Periode osilasi untuk osilasi harmonik sederhana ialah

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (11)$$

Oleh karena itu periode untuk pendulum sederhana adalah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (12) [2]$$

Dimana

T = periode osilasi

l = panjang tali

g = gravitasi

5. Pengujian dan Analisis

5.1. Penentuan nilai Kp dan Kd menggunakan

MATLAB

Dalam metode sistem kendali *Proportional Derivative* nilai Kp dan Kd haruslah ditentukan terlebih dahulu. Nilai Kp dan Kd dapat diperoleh melalui beberapa cara salah satunya adalah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB. Salah satu program di perangkat lunak MATLAB adalah simulink. Dengan bantuan simulink, persamaan pendulum sederhana yang sudah didapat, disimulasikan dan didapatkan hasil nilai Kp dan Kd. Pada Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi sistem sebelum ditambahkan sistem kendali *Proportional Derivative*. Pada Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi sistem dengan menambahkan sistem kendali *Proportional Derivative*. Setelah ditambahkan sistem kendali *Proportional Derivative* maka didapat *rise time* sebesar 0.328 detik, *overshoot* sebesar 1.1 derajat, *settling time* sebesar 4.9 detik, *peak time* berada pada detik 0.41 dan *steady state error* sebesar 0.14 derajat.

5.2. Pengujian Menggunakan Pengendali

Manual

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem terhadap *sway* yang timbul akibat penggunaan pengendali manual. Pengujian ini akan dibagi menjadi 8 pengujian. Yaitu:

- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif

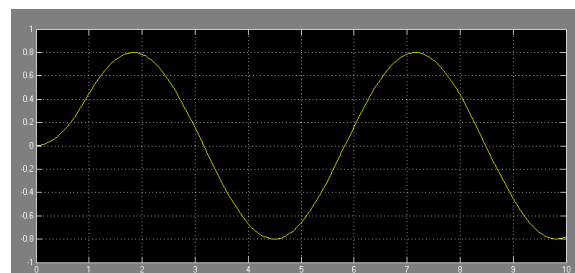
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif dan Axis Y Negatif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Positif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Negatif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif dan Axis Y Positif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif
- Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif

Hasil yang didapat adalah berupa data sudut dari axis x dan axis y. Dari data yang didapat akan dibuat grafik dengan format sudut terhadap waktu. Grafik yang ditampilkan menunjukkan osilasi sudut yang terjadi ketika pengujian dilakukan terhadap berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan stabil. Sudut yang ditampilkan pada grafik merupakan sudut dalam bentuk derajat dan waktu yang ditunjukkan dalam grafik merupakan waktu dalam hitungan mikro detik. Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan.

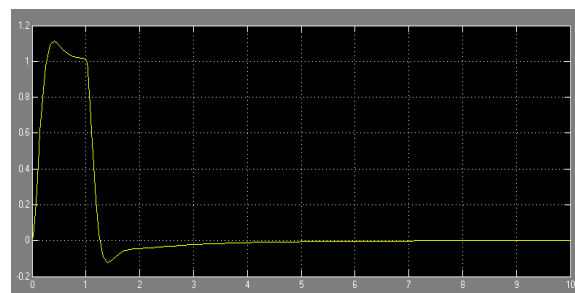
- Pengujian Menggerakkan motor ke arah axis x positif dan axis y positif

Grafik yang ditampilkan merupakan grafik sudut (derajat) terhadap waktu (mikro detik). Garis berwarna biru merupakan sudut yang didapat dari axis x dan garis berwarna jingga merupakan sudut yang didapat dari axis y.

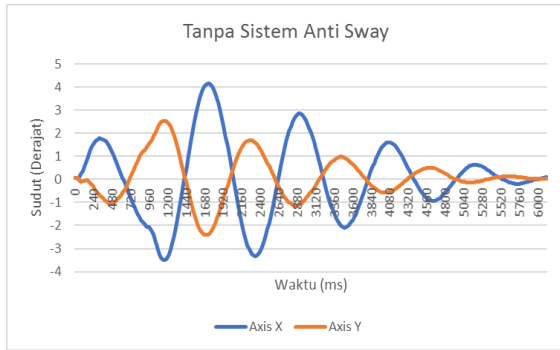
Hasil pengujian pada Gambar 6 menunjukkan osilasi *sway* pada beban tanpa sistem anti *sway* dengan menggunakan pengendali manual



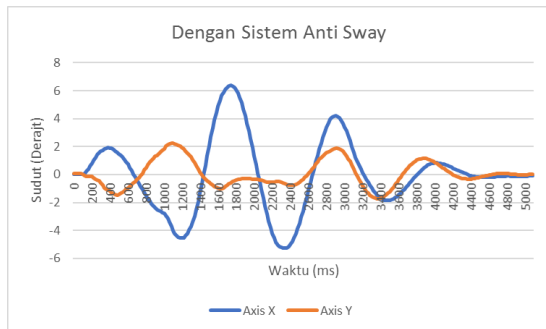
Gambar 4. Hasil Simulasi Pendulum Sederhana



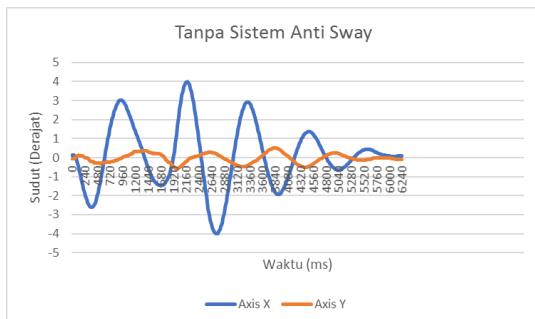
Gambar 5. Hasil Simulasi Sistem Setelah Penambahan Sistem Kendali *Proportional Derivative*



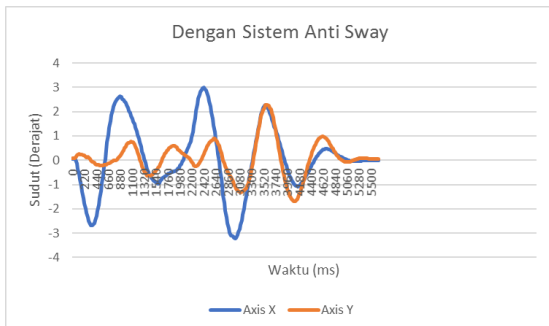
Gambar 6. Sudut Sway pada Beban Tanpa Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif



Gambar 7. Sudut Sway pada Beban dengan Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif



Gambar 8. Sudut Sway pada Beban Tanpa Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif



Gambar 9. Sudut Sway pada Beban Dengan Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Sistem Anti Sway Menggunakan Pengendali Manual

No.	Pengujian	Hasil Akhir Pengujian (ms)		Perbedaan Waktu (ms)
		Tanpa Sistem Anti Sway	Dengan Sistem Anti Sway	
1	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif	6000	5000	1000
2	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif dan Axis Y Negatif	7000	6000	1000
3	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif	6240	5500	740
4	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Positif	5200	4680	520
5	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Negatif	5720	4320	1400
6	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif dan Axis Y Positif	6380	5720	660
7	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif	4500	3000	1500
8	Pengujian Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Negatif	5200	5200	0

Hasil pengujian pada Gambar 7 menunjukkan osilasi *sway* pada beban dengan sistem anti *sway* dengan menggunakan pengendali manual. Dari Gambar 6 dan Gambar 7 didapat kesimpulan bahwa pada pengujian dengan menggerakkan motor ke arah axis x positif dan y positif, sistem mengurangi waktu osilasi untuk mencapai keadaan stabil sebesar 1000 ms.

B. Pengujian menggerakkan y negatif

Grafik yang ditampilkan merupakan grafik sudut(derajat) terhadap waktu(mikro detik). Garis berwarna biru merupakan sudut yang didapat dari axis x dan garis berwarna jingga merupakan sudut yang didapat dari axis y. Hasil pengukuran sudut *sway* pada beban ketika tidak dipasang sistem anti *sway*.

Hasil pengujian pada Gambar 8 menunjukkan osilasi *sway* pada beban tanpa sistem anti *sway* dengan menggunakan pengendali manual. Hasil pengujian pada Gambar 9 menunjukkan osilasi *sway* pada beban dengan sistem anti *sway* dengan menggunakan pengendali manual. Dari Gambar 8 dan Gambar 9 didapat kesimpulan bahwa pada pengujian dengan menggerakkan motor ke arah axis y negatif, sistem mengurangi waktu osilasi untuk mencapai keadaan stabil sebesar 740 ms.

Dari 8 pengujian masing-masing akan dibagi menjadi 2 pengujian yaitu pengujian menggunakan sistem *anti sway* dan tanpa menggunakan sistem *anti*

sway. Tabel 1 merupakan hasil pengujian sistem *anti sway* menggunakan pengendali manual.

Data dari Tabel 1 menunjukkan bahwa sistem *anti sway* bekerja dengan baik, yaitu mengurangi waktu yang diperlukan dari keadaan *sway* sampai keadaan sudut stabil. Nilai rata-rata perbedaan antara dengan menggunakan sistem *anti sway* dan tanpa menggunakan *anti sway* diatas adalah 852,5 ms.

5.3. Pengujian Tanpa Menggunakan Pengendali Manual

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem terhadap *sway* yang timbul akibat dorongan manual terhadap beban. Pengujian ini akan dibagi menjadi 8 pengujian. Yaitu:

- Pengujian sudut axis x positif dan axis y positif
- Pengujian sudut axis x negatif dan axis y negatif
- Pengujian dengan axis x mendekati nol dan axis y negatif
- Pengujian dengan axis x mendekati nol dan axis y positif
- Pengujian sudut axis x positif dan axis y mendekati nol
- Pengujian sudut axis x negatif dan axis y mendekati nol
- Pengujian sudut axis x positif dan axis y negatif
- Pengujian sudut axis x negatif dan axis y positif

Hasil yang didapat adalah berupa data sudut dari axis x dan axis y. Dari data yang didapat akan dibuat grafik dengan format sudut terhadap waktu. Grafik yang ditampilkan menunjukkan osilasi sudut yang terjadi ketika pengujian dilakukan terhadap berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan stabil. Sudut yang ditampilkan pada grafik merupakan sudut dalam bentuk derajat dan waktu yang ditunjukkan dalam grafik merupakan waktu dalam hitungan mikro detik.

A. Pengujian sudut axis x positif dan axis y positif

Grafik yang ditampilkan merupakan grafik sudut(derajat) terhadap waktu(mikro detik). Garis berwarna biru merupakan sudut yang didapat dari axis x dan garis berwarna jingga merupakan sudut yang didapat dari axis y. Pengujian yang akan dilakukan adalah mengatur agar sudut dari axis x positif dan axis y positif diberikan pada beban.

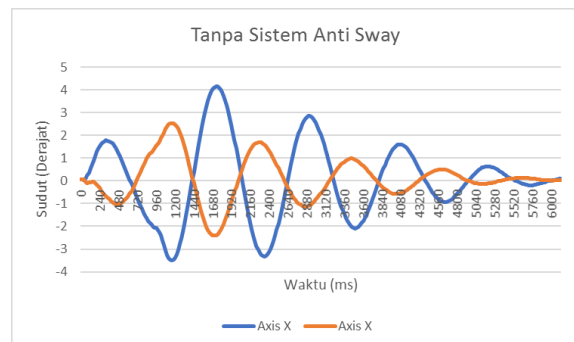
Hasil pengujian pada Gambar 10 menunjukkan osilasi *sway* pada beban tanpa sistem *anti sway* dengan menggunakan pengendali manual. Hasil pengujian pada Gambar 11 menunjukkan osilasi *sway* pada beban dengan sistem *anti sway* dengan menggunakan pengendali manual. Dari Gambar 10 dan Gambar 11 didapat kesimpulan bahwa pada pengujian dengan menggerakkan motor ke arah axis x positif dan y positif, sistem mengurangi waktu osilasi untuk mencapai keadaan stabil sebesar 1200 ms.

B. Pengujian dengan sudut axis x mendekati nol dan axis y negatif

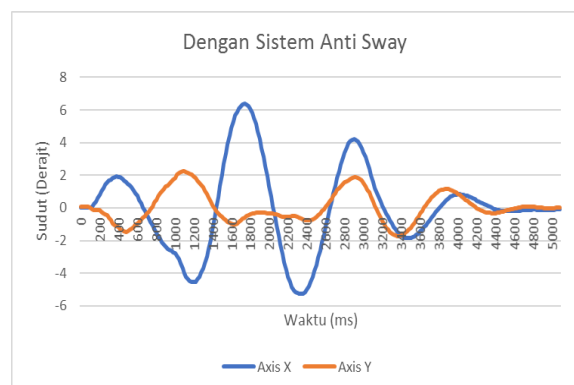
Grafik yang ditampilkan merupakan grafik sudut(derajat) terhadap waktu(mikro detik). Garis berwarna biru merupakan sudut yang didapat dari axis x dan garis berwarna jingga merupakan sudut yang didapat dari axis y. Pengujian yang akan dilakukan adalah mengatur agar sudut dari axis x mendekati nol dan axis y negatif diberikan pada beban.

Hasil pengujian pada Gambar 12 menunjukkan osilasi *sway* pada beban tanpa sistem *anti sway* dengan menggunakan pengendali manual. Hasil pengujian pada Gambar 13 menunjukkan osilasi *sway* pada beban dengan sistem *anti sway* dengan menggunakan pengendali manual. Dari Gambar 10 dan Gambar 13 didapat kesimpulan bahwa pada pengujian dengan menggerakkan motor ke arah axis x positif dan y positif, sistem mengurangi waktu osilasi untuk mencapai keadaan stabil sebesar 1880 ms.

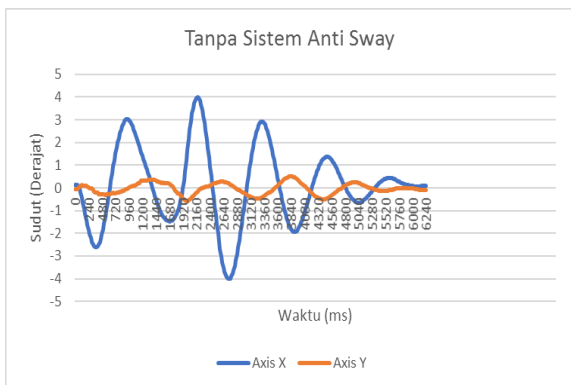
Dari 8 pengujian masing-masing akan dibagi menjadi 2 pengujian yaitu pengujian menggunakan sistem *anti sway* dan tanpa menggunakan sistem *anti sway*. Tabel 2 merupakan hasil pengujian sistem *anti sway* menggunakan pengendali manual.



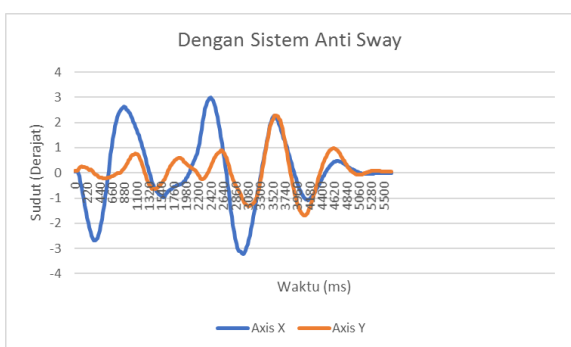
Gambar 10. Sudut Sway pada Beban Tanpa Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif



Gambar 11. Sudut Sway pada Beban dengan Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis X Positif dan Axis Y Positif



Gambar 12. Sudut Sway pada Beban Tanpa Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif



Gambar 13. Sudut Sway pada Beban Dengan Sistem Anti Sway dengan Pengendali Manual Menggerakkan Motor ke Arah Axis Y Negatif

Tabel 2. hasil pengujian sistem anti sway tanpa menggunakan pengendali manual

No.	Pengujian	Hasil Akhir Pengujian (ms)		Perbedaan Waktu (ms)
		Tanpa Sistem Anti Sway	Dengan Sistem Anti Sway	
1	Nilai axis x positif (8°) Nilai axis y positif (4°)	7800	6400	1200
2	Nilai axis x negatif (-10°) Nilai axis y negatif (-5°)	9880	7800	2080
3	Nilai axis x mendekati nol (0°) Nilai axis y negatif (-6°)	9880	8000	1880
4	Nilai axis x mendekati nol (0°) Nilai axis y positif (10°)	9360	8100	1260
5	Nilai axis x positif (12°) Nilai axis y mendekati nol (-3°)	7280	6000	1280
6	Nilai axis x negatif (-7°) Nilai axis y mendekati nol (0°)	6240	3240	3000
7	Nilai axis x positif (12°) Nilai axis y negatif (-10°)	10260	9800	460
8	Nilai axis x negatif (-10°) Nilai axis y positif (10°)	9240	8160	1080

Data dari Tabel 2 menunjukkan bahwa sistem anti sway bekerja dengan baik, yaitu mengurangi waktu yang diperlukan dari keadaan sway sampai keadaan sudut stabil. Nilai rata-rata perbedaan antara dengan menggunakan sistem anti sway dan tanpa menggunakan anti sway diatas adalah 1.530 ms.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem kendali anti sway overhead crane ini didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam hasil pengujian dengan menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis x adalah sebesar 750 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik didalam pengurangan sway pada pengendalian overhead crane.
2. Dalam hasil pengujian dengan menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis y adalah sebesar 630 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik didalam pengurangan sway pada pengendalian overhead crane.
3. Dalam hasil pengujian dengan menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis x dan axis y adalah sebesar 1180 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik didalam pengurangan sway pada pengendalian overhead crane.
4. Dalam hasil pengujian tanpa menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis x adalah sebesar 770 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik dalam mengurangi sway pada pengendalian overhead crane.
5. Dalam hasil pengujian tanpa menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis y adalah sebesar 1570 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik dalam mengurangi sway pada pengendalian overhead crane.
6. Dalam hasil pengujian tanpa menggunakan pengendali manual, nilai selisih rata-rata dalam pengujian axis x dan axis y adalah sebesar 1890 ms. Yang berarti sistem anti sway bekerja dengan baik dalam mengurangi sway pada pengendalian overhead crane.

Daftar Pustaka:

[1] Susanto, Erwin. “Kontrol Proporsional Integral Derifatif (PID) Untuk Motor DC Menggunakan Personal Computer”. Institut Teknologi Telkom Bandung., 2008.

[2] Physics 15c, Laboratory 1. 2016. The Pendulum. iopl.physics.harvard.edu/wp-uploads/2013/03/15c_s07_1.pdf.