

RANCANG BANGUN PENGONTROLAN ANTI SWING PADA PROTOTYPE GANTRY CRANE DENGAN METODE FUZZY LOGIC

Aef Agus Sapari¹⁾, Ismail Rokhim, ST. MT.²⁾, Pipit Anggraeni, ST. MT. MSc. Tech²⁾

¹⁾Teknik Elektromekanik, Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur

²⁾Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika

Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jl. Kanayakan no.21, Bandung – 40135

INDONESIA

E-mail: aefsapari99@gmail.com, ismailrokhim@yahoo.com

Abstrak: - Gantry crane banyak digunakan di industri atau pelabuhan untuk keperluan *handling* muatan. Efisiensi *handling* muatan dilakukan melalui pengaturan posisi *trolley* sehingga beban dapat dipindahkan secara cepat dengan ayunan beban yang minimal. Permasalahan utama dari sistem *gantry crane* adalah bagaimana sistem bergerak dari titik ke titik lain dengan tepat dan benergerak tanpa ayunan. Diperlukan dua buah kontroler untuk mengatasi permasalahan sistem, yaitu kontroler anti *swing* untuk memperkecil sudut ayunan beban dan kontroler *tracking* untuk memandu pergerakan *trolley*.

Dalam tugas akhir ini, dikembangkan pengontrolan *gantry* dengan metode *fuzzy*. Mikrokontroler Arduino jenis Uno digunakan sebagai pengendali proses. Motor DC akan dikontrol sebagai penggerak trolly untuk proses pemindahan beban. Sudut ayunan beban yang terjadi akan diukur menggunakan sensor *acceleromm* dan *gyroscope* MPU-6050. Hasil pengukuran sensor akan dibandingkan dengan nilai *set point* 0°. Setelah itu selisih dari perbandingan akan diolah dengan logika *fuzzy*, yang akan menghasilkan nilai PWM sebagai pengatur kecepatan motor untuk mereduksi besarnya ayunan yang terjadi. Variasi parameter panjang tali digunakan untuk mengetahui performasi sistem.

Hasil dari logika *fuzzy* yang telah terapkan pada sistem, menunjukkan bahwa posisi trolly dapat mengikuti sinyal referensi serta besarnya ayunan yang terjadi pada beban tidak lebih dari 4°. Waktu rata-rata yang ditempuh untuk memindahkan beban dengan jarak 700 mm sebesar 6.35s.

Kata kunci: - Anti *Swing*, logika *Fuzzy*, *Gantry Crane*, *Tracking*

I. PENDAHULUAN

Gantry crane digunakan secara luas di industri, pelabuhan maupun kontruksi bangunan tinggi untuk memindahkan barang atau muatan yang berukuran besar dan sangat berat. *Gantry crane* merupakan jenis *crane* yang memiliki lintasan sistem yang di topang oleh sebuah tiang penyangga pada masing-masing ujung lintasan. Proses pemindahan muatan bekerja pada kecepatan yang tinggi, sehingga menyebabkan terjadinya ayunan pada muatan yang dibawa. Selain itu, dapat mengakibatkan permasalahan keselamatan di lingkungan kerja [1].

Gantry crane dioperasikan secara manual oleh seorang operator untuk mengantisipasi ayunan yang terjadi. Operator mengendalikan *crane* secara hati-hati dan proses pemindahan muatan dipantau oleh operator lain. Karena proses pengoperasian *crane* lambat dan membutuhkan tenaga kerja lebih dari satu orang, hal ini dinilai kurang efisien. Permasalahan pada operasi *gantry crane* dimulai saat beban berada pada posisi tergantung vertikal ke bawah. Pada saat *gantry crane* bergerak untuk memindahkan beban, maka beban akan terayun dengan sudut ayun tertentu, mengikuti perubahan kecepatan perpindahan *crane* [1]. Dengan tuntutan waktu

pemindahan yang cepat, maka akan mengakibatkan sudut ayunan yang sangat besar.

Ayunan beban yang terjadi saat pengoperasian *crane* harus dihilangkan untuk mempercepat pemindahan beban dan menghindari terjadinya kecelakaan. Maka dari itu dibutuhkan pengendalian untuk memindahkan *crane* dengan cepat serta dengan osilasi sekecil mungkin pada beban. Serta dibutuhkan pengendalian untuk memandu pergerakan *trolley*.

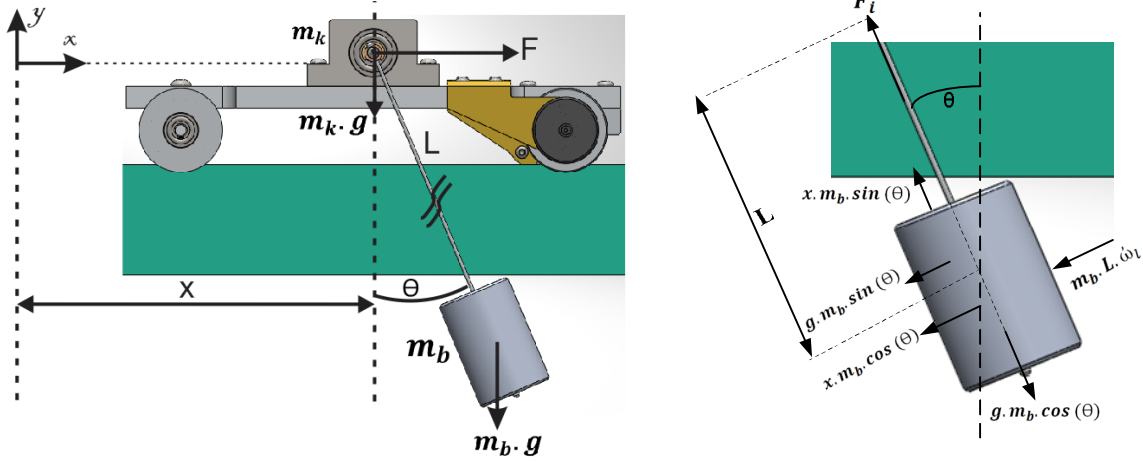
Beberapa metode kontrol telah dikembangkan untuk mendapatkan solusi permasalahan tersebut. Zawawi, M.A.[2] telah membandingkan hasil kontrol feedback pada sudut *crane* saja, antara lain metode *linear quadratic regulator* (LQR), *delayed feedback signal* (DFS), dan *proportional_derivative* (PD). Melindawati Rosita [1] telah mendesain pengontrol untuk sistem *gantry crane* dengan *fuzzy logic*. Metode *fuzzy* telah banyak dan berhasil diterapkan pada sistem *gantry crane* [3]. Namun desain sistem *fuzzy* masih perlu dikembangkan untuk pengontrolan sistem nonlinear pada *gantry crane* agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

Pada akhirnya, tugas akhir ini akan dibuat desain pengontrol *fuzzy* untuk sistem *gantry crane* yang diharapkan dapat menghasilkan respon yang lebih baik.

Untuk stabilisasi ayunan beban menggunakan *fuzzy* dan pengontrol P digunakan untuk memandu pergerakan *trolley*. Desain tersebut akan diimplementasikan kepada sebuah *plant*. *Plant* tersebut memiliki lintasan yang ditopang oleh tiang penyangga pada masing-masing ujung lintasan sehingga dapat digunakan sebagai pemodelan bagi sistem *gantry crane*.

II. MODEL MATEMATIKA SISTEM GANTRY CRANE

Model matematis sistem gantry crane diilustrasikan seperti pada **Gambar 1**. Sistem memiliki sebuah troli dengan massa m_k . Troli digerakan oleh sebuah motor DC sejauh x dengan sumbu referensi y dengan besarnya gaya F .



Gambar 1 Model gantry crane

Dengan menggunakan hukum Newton kedua,

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

Persamaan dinamika gantry crane dapat diturunkan, antara lain gerak troli arah horizontal seperti pada persamaan (2)

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

Sedangkan untuk gerak troli arah vertical,

$$m_k \cdot g + F_i \cos \theta = 0 \quad (3)$$

Untuk gerak beban arah horizontal,

$$-F_i \sin \theta = m_b \cdot \frac{d^2(x+L \sin \theta)}{dt^2} \quad (4)$$

Untuk gerak beban vertical,

$$m_b \cdot g - F_i \cos \theta = m_b \cdot \frac{d^2(L \cos \theta)}{dt^2} \quad (5)$$

Dari persamaan (2),(3),(4) dan (5), maka didapatkan persamaan baru yang dapat ditulis dalam bentuk *state space* seperti pada persamaan (6).

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F + m_b \sin \theta (L \dot{\theta}^2 + g \cos \theta)}{m_k + m_b \sin^2 \theta} \\ -\frac{F \cos \theta + m_b \sin \theta (g + L \dot{\theta}^2 \cos \theta) + g m_k \sin \theta}{L(m_k + m_b \sin^2 \theta)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dengan asumsi:

x = posisi kereta

\dot{x} = kecepatan kereta

θ = sudut ayunan

$\dot{\theta}$ = kecepatan sudut ayun

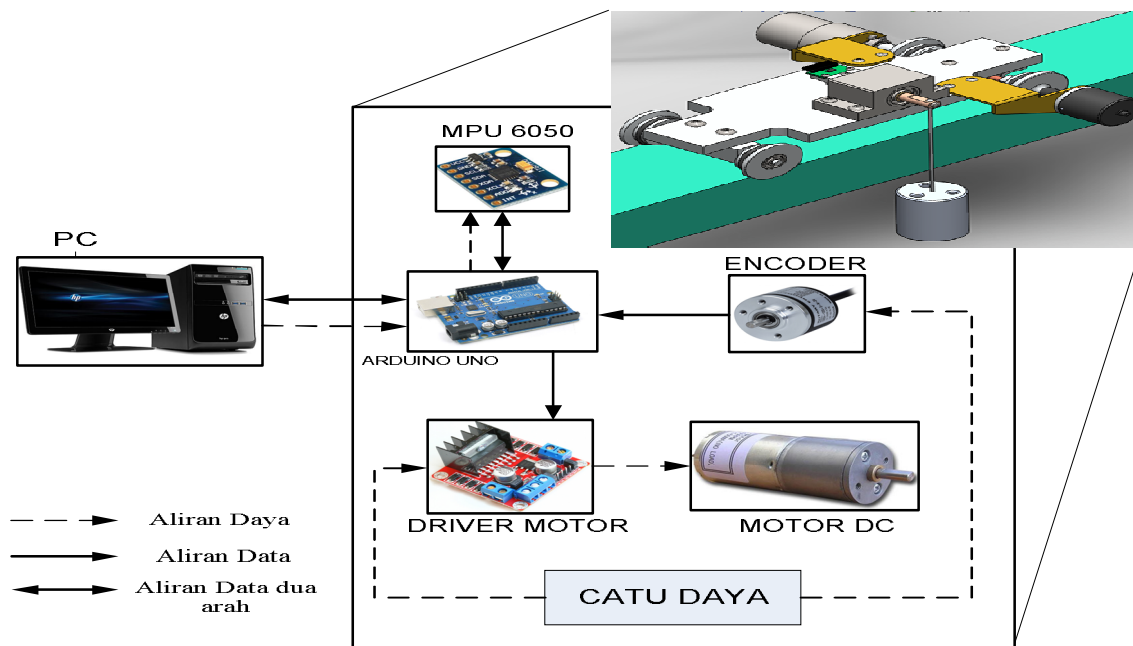
Dari persamaan yang telah diturunkan, maka model matematika dalam bentuk persamaan state dapat dituliskan pada persamaan (7) sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{m_b}{m_k} \cdot g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{(m_b + m_k)g}{L m_k} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_k} \\ 0 \\ -\frac{1}{L m_k} \end{bmatrix} \cdot F \quad (7)$$

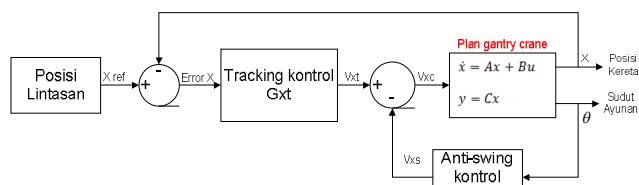
III. PERANCANGAN SISTEM

Secara umum sistem yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Sistem yang dibuat dengan pengendali utama adalah sebuah mikrokontroler arduino uno yang mengontrol pergerakan troli berupa motor DC. Sebagai kontroler sistem utama, mikrokontroler menerima masukan berupa sinyal *encoder* dan data kemiringan sudut yang terjadi pada beban dari sensor. Setelah data kemiringan diterima maka mikrokontroler akan memberikan aktuasi pengontrolan motor DC sebagai kompensasi dari sudut ayunan yang terjadi.

Sinyal masukan dari *encoder* digunakan untuk menentukan posisi troli, seberapa banyak pulsa yang dihasilkan oleh *encoder* akan dihitung oleh mikrokontroler. Selain menerima data dari perangkat keras, Mikrokontroler akan menerima data dari komputer berupa instruksi pemindahan dan posisi dari troli, sinyal ini dihasilkan oleh perangkat lunak LabVIEW melalui komunikasi serial.



Gambar 2 Gambaran umum sistem



Gambar 3 Diagram blok sistem

Metode yang digunakan dalam perancangan pengendali sistem gantry crane ini adalah membagi pengendali menjadi dua bagian, yaitu kontrol *anti swing* dan kontrol *position tracking*. Jenis pengendali yang digunakan pada bagian *position tracking* adalah kendali proporsional, sedangkan *anti swing* menggunakan *fuzzy logic*.

Masing-masing pengendali dirancang secara terpisah kemudian digabungkan untuk mendapatkan performansi yang diinginkan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

a. Desain kontroler *position tracking*

Sinyal kontrol yang dihasilkan dari kendali proporsional pada bagian *position tracking* adalah:

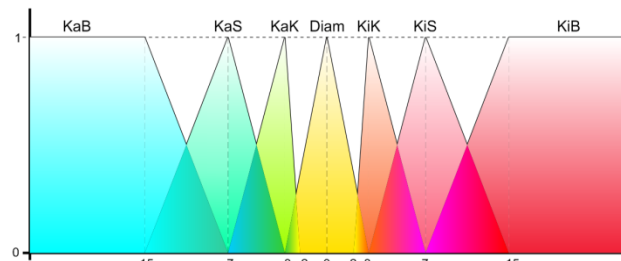
$$v_{xt} = K_p \cdot (x_{ref} - x)$$

Nilai K_p diatur sedemikian rupa hingga mencapai hasil pengontrolan pada *position tracking* tanpa menimbulkan *overshoot*.

b. Desain kontroler *anti swing*

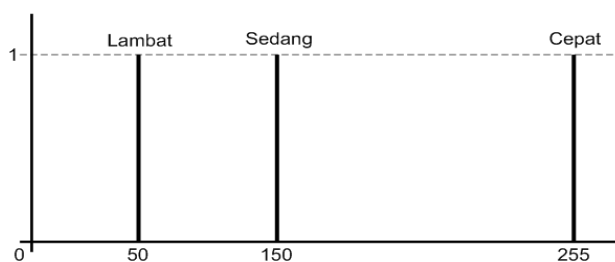
Terdapat tiga himpunan fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan pada sistem *gantry crane* ini. Pertama himpunan fungsi keanggotaan *error* sudut kemiringan sensor (θ), kedua delta *error* ($d\theta$), dan *output* pengendali motor (F).

Untuk membedakan batas fungsi keanggotaan pada variabel masukan sensor maupun variabel keluaran motor, dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Fungsi keanggotaan variabel masukan sudut

Berdasarkan Gambar 4, batas – batas keanggotaan yang diukur oleh sensor ditentukan oleh besarnya sudut sebagai *error* (θ). Dengan penamaan keanggotaan sebagai berikut; Kanan Besar (KaB), Kanan Sedang (KaS), Kanan Kecil (KaK), Diam, Kiri Kecil (KiK), Kiri Sedang (KiS) dan Kiri Besar (KiB). Batas keanggotaan ini berlaku pula untuk fungsi delta *error* ($d\theta$).



Gambar 5 Fungsi keanggotaan variabel keluaran motor

Fungsi keanggotaan keluaran motor yang berbentuk nilai tunggal merupakan nilai *offset* pengali pada defuzzifikasi nilai output. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *weight average* (WA). Nilai keluaran motor yang ada pada Gambar 5 berlaku untuk pergerakan motor searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam. Dengan aturan *fuzzy* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada aturan yang digunakan menunjukkan penentuan nilai berdasarkan nilai masukan *error* dan delta *error*.

Tabel 1 Baris aturan sistem

Kereta		Error						
		Kiri Besar	Kiri Sedang	Kiri Kecil	Nol	Kanan Kecil	Kanan Sedang	Kanan Besar
Delta Error	Kiri_Besar	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Kiri_Sedang	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Kiri_Kecil	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Nol	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Kanan_Kecil	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Kanan_Sedang	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat
	Kanan_Besar	Maju Cepat	Maju Sedang	Maju Pelan	Diam	Mundur Pelan	Mundur Sedang	Mundur Cepat

IV. PENGUJIAN SISTEM

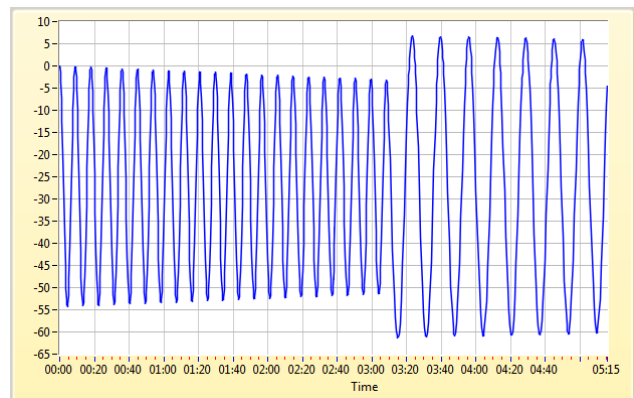
Pada bagian ini membahas mengenai hasil yang didapatkan dari implementasi rancangan terhadap keadaan nyata. Implementasi dilakukan berdasarkan kepada perancangan yang telah dijelaskan pada Bab III. Model *fuzzy* dirancang untuk stabilisasi atau anti *swing* pada beban *gantry crane*. Sementara sistem Kontrol posisi hasil desain menggunakan Kontrol P. Simulasi dilakukan dengan kondisi awal titik kerja 0 radian.



Gambar 6 hasil aktualisasi rancangan

Hasil perhitungan Pemodelan matematika sistem *gantry crane* yang telah dilakukan, selanjutnya digunakan sebagai landasan dalam melakukan pemodelan dan simulasi pada LabVIEW. Pemodelan dan simulasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sistem *gantry crane*. Pemodelan dilakukan terhadap ayunan yang terjadi pada sistem, dengan beberapa perubahan variabel.

Pemodelan dan simulasi yang pertama dilakukan terhadap ayunan dengan variabel percobaan sebagai berikut; massa kereta 500 gram, massa beban 250 gram, gaya dorong kereta 200 N dan panjang tali bervariasi antara 300 mm dan 600 mm.



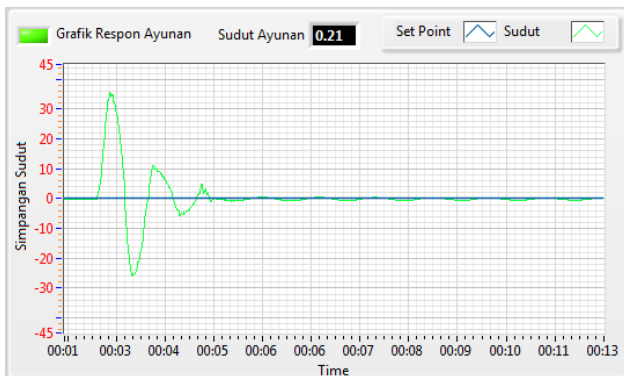
Gambar 7 Grafik simulasi dengan variabel panjang tali 300 mm dan 600 mm

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa panjang tali yang digunakan akan berpengaruh terhadap besarnya amplitudo dan perioda penyesuaian ayunan. Semakin panjang tali yang digunakan maka semakin besar pula amplitudo ayunan beban yang terjadi, serta semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi *steady* 0°.

i. Pengujian *anti swing*

Pengujian dilakukan terhadap performa dari sistem anti *swing*, dengan beberapa parameter pengujian. Sesuai dengan batasan masalah pada BAB I, parameter yang digunakan ialah massa beban yang tetap sebesar 250 gram, sementara panjang tali dapat diubah dari 300 mm sampai dengan 600 mm. respon yang diamati adalah

besarnya simpangan yang terjadi dan *settling time*. pada pengujian pertama membandingkan karakteristik ayunan pada **Gambar 8**, dengan nilai parameter yang digunakan panjang tali 300 mm dan massa beban 250 gram, dengan gangguan.



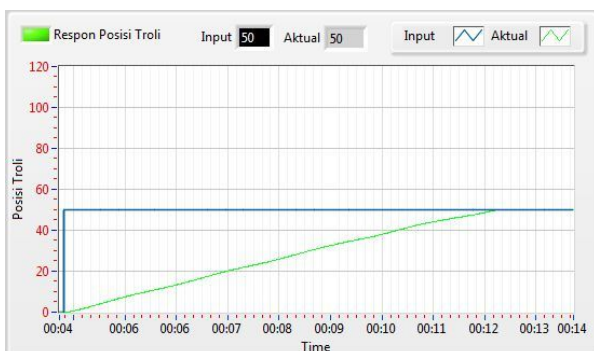
Gambar 8 Respon ayunan (Panjang tali 300 mm dan massa beban 250 gram)

Tabel 2 Pengujian anti *swing*

Kriteria	Panjang Tali			
	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
Settling time (detik)	2.5	3.2	3	4.5
Posisi Beban <i>Overshoot</i> (°)	33	18	21	22
<i>Undershoot</i> (°)	-23	-10	-12	-10

ii. Pengujian *position tracking*

Pada pengujian pertama dilakukan dengan membandingkan karakteristik *input* dan *output* pengontrolan *tracking* yang terlihat pada **Gambar 9**, nilai parameter yang digunakan panjang tali 300 mm dan massa beban 250 gram, dengan *input* perpindahan dari 0 sampai 500 mm.



Gambar 9 Respon posisi troli (Panjang tali 300 m dan massa beban 250 gram)

Tabel 3 Pengujian respon *position tracking*

Kriteria	Panjang Tali			
	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
Posisi Beban <i>Overshoot</i> t (°)	1.5	2	2.5	2.5
<i>Undershoot</i> (°)	-1.5	-2	-2.5	-2.5
Posisi Troli Settling time (detik)	8	6.4	5.7	5.3

Tabel 4 Pengujian respon *tracking* dengan gangguan

Kriteria	Panjang Tali			
	300 mm	400 mm	500 mm	600 mm
Posisi Beban <i>Overshoot</i> t (°)	1.4	2.7	2.6	3.3
<i>Undershoot</i> (°)-1.5	-1.5	-2.5	-2.4	-3.3
Posisi Troli Settling time (detik)	9.2	7.6	7.2	6.6

Dari data hasil percobaan pada **Tabel 1** Pengujian anti *swing*, menunjukan bahwa panjang tali yang digunakan berpengaruh terhadap waktu penyesuaian untuk mencapai *steady* 0°. Semakin panjang tali yang digunakan maka semakin lama penyesuaian yang dilakukan oleh sistem untuk mencapai *steady*. Hal ini senada dengan hasil pemodelan dan simulasi yang dilakukan, dimana hasil simulasi menunjukan bahwa panjang tali berpengaruh terhadap besarnya amplitudo ayunan dan perioda penyesuaian ayunan. Semakin panjang tali yang digunakan maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *steady* 0°.

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pembuatan serta pengujian sistem didapatkan beberapa kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Penerapan metode *fuzzy logic* pada sistem anti *swing* dan *tracking gantry crane* dapat mengikuti sinyal referensi berupa sinyal *step*.
2. Proses pemindahan beban dapat berjalan dengan besaran ayunan rata-rata sebesar 3 derajat.
3. Besarnya rata-rata waktu penyesuaian terhadap gangguan sebesar 3 detik
4. Semakin panjang tali yang digunakan pada beban akan berpengaruh terhadap semakin lamanya waktu kompensasi sudut ayunan pada proses anti *swing*. hal ini sesuai dengan hasil simulasi sistem *gantry crane* yang telah dilakukan.

Pada tugas akhir ini telah berhasil dibuat sebuah pengontrol anti *swing* pada prototipe *gantry crane* yang mampu mereduksi simpangan yang terjadi pada beban. Namun hasil ini masih dapat diperbaiki kembali. Pada penggunaan pengendali logika *fuzzy*, sistem akan dapat mempercepat respon penyesuaian apabila dilakukan penalaan terhadap fungsi keanggotaan dan aturan yang lebih mendalam.

Dari segi perangkat keras, perlu adanya perbaikan pada *base trolis*. *Base trolis* yang digunakan dirasakan terlalu berat, serta posisi *base* yang harus diubah mengikuti bentuk aslinya yaitu bergantung pada batang I. Poros pendeteksi beban harus dibuat memiliki gesekan yang sangat kecil dan posisinya berada di tengah dari *trolis*. Motor yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki kecepatan maksimum 300 rpm, kecepatan motor harus ditingkatkan untuk mempercepat respon kompensasi terhadap ayunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Melindawati, R., 2014. "Desain kontroler *Fuzzy* untuk Sistem *Gantry Crane*", *JURNAL TEKNIK POMITS Vol.3 No.1*, (2014) ISSN:2337-3539.
- [2] Zawawi, M.A., 2011. "Feedback Control Scheme for *Gantry Crane* System Incorporating Payload", *IEEE Symposium on Industrial and Applications (ISIA2011)*, 2011.
- [3] Wahyudi dan Jalani J., 2005. "Desain and Implementation of *Fuzzy Logic* Kontroler for an Intelligent *Gantry Crane* System: Robustness Evaluation", *Proceeding of 2nd International Conference on Mechatronics*, 2005, pp.345-351.
- [4] Rokhim, Ismail., 2012. "Pengaturan anti *swing* pada *gantry crane* menggunakan *sliding mode control* dengan kompensator *Proportional-Integral*", *JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Vol.10, No.1, Apr.2012, ISSN 1412-8306
- [5] Rao, Kantha Simanjalam, 2012. "Position And Anti-Swing Control For A *Gantry Crane* System Using *Fuzzy-Tuned PID Controller*", Thesis, universitas teknologi Malaysia,
- [6] Kusumadewi, Sri dan Hari Purnomo. 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Mendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [7] COMPRESSION SPRING [online] Tersedia : <http://www.centuryspring.com/pdfs/12-228COMPRESSION.pdf> diakses pada [22 juli 2015, 01:40]
- [8] Rizky Prasetya, Kiki. 2014 Implementasi Saklar Pemindah Otomatis *On-Line* sebagai Pemindah Sumber Listrik PLN – Genset pada penggunaan Beban Berdaya Rendah, Tugas Akhir, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
- [9] Karakteristik Respon [online] Tersedia : oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=309 diakses pada [27 juli 2015, 11:30]
- [10] Prinsip kerja *Gyroscope* [online] Tersedia : <http://www.geyosoft.com/2013/acceleromm-dan-gyroscope> diakses pada [10 agustus 2015, 09:53]