

PERANCANGAN PROTOTIPE SISTEM KENDALI GANTRY CRANE UNTUK MEREDAM AYUNAN SECARA REALTIME DENGAN FUZZY LOGIC CONTROLLER

Saeful Bahri¹, Febby Angga Permana²

^{1,2}Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Telp. (021)4256024
INDONESIA
Email : saefulb@ftumj.ac.id

ABSTRAK

Gantry Crane merupakan alat berat yang dapat memindahkan dan mengangkat beban dari suatu titik ke titik lainnya. Gantry Crane biasanya digunakan di pelabuhan dan industri – industri untuk membantu pekerjaan. Pada proses pemindahan barang terjadi ayunan yang disebabkan pergerakan vertikal yang dilakukan crane. Pemindahan barang yang menyebabkan ayunan yang sangat besar akan membahayakan keselamatan bagi operator, alat, dan sesuatu yang didekat crane. Maka, harus dibuat suatu pengendali optimal yang dapat mengendalikan crane untuk meminimalkan besarnya ayunan. Pada penelitian ini digunakan metode fuzzy untuk mengendalikan meredam ayunan saat berpindah. Untuk mengoptimalkan pengendali dibuat dua buah pengendali, yaitu pengendali posisi dan ayunan. Percobaan ini menggunakan prototipe gantry crane sebagai pengganti crane asli. Model gantry crane disesuaikan dengan parameter – parameter yang akan digunakan. Dari hasil pengujian yang didapat, Pengendali menggunakan fuzzy logic lebih efektif dari kontrol manual. Hasil dari percobaan simpangan maksimum dengan pengendali fuzzy terjadi pada panjang tali 50cm yaitu 17°. Untuk simpangan maksimum terkecil ada pada percobaan panjang tali 20cm sebesar 11°. ini dikarenakan momen beban yang disebabkan panjang tali. Simpangan maksimum 18° dan menyebabkan crane berosilasi yang lama.

Kata Kunci : gantry crane, fuzzy logic, meredam ayunan.

ABSTRACT

Gantry Crane is a heavy equipment to move and lift the load from one point to another. Gantry Crane typically used in ports and industry - industry to help with the work. In the process of moving loads occurs swings caused vertical movements carried a crane. Transfer of loads cause huge swings that would endanger the safety for the operator, tools, and anything near the crane. Thus, it should be an optimal controller that can control the crane to minimize the magnitude of the swing. In this study used a fuzzy method for controlling anti swings when moving. To optimize the controller made two controllers, the position controller and swing. This experiment using the prototype crane gantry crane as a replacement for the original crane. Model gantry crane adapted to the parameters - parameters to be used. From the test results obtained, the controller uses fuzzy logic is more effective than manual control. Results of experiments with a maximum deviation occurs in the fuzzy controller wire length 50cm is 17°. To the maximum deviation of the smallest is on trial 20cm wire length of 11°. This is because the moment load caused a long rope. Maximum deviation of 18° and causing the crane oscillate longer.

Keywords: gantry cranes, fuzzy logic, anti-swings.

1 Pendahuluan

Dalam dunia modern ini, kebutuhan untuk memindahkan beban berat dari satu tempat ke tempat lain, jauh maupun dekat telah menjadi sangat penting. Crane merupakan alat bantu mekanis yang digunakan manusia untuk memindahkan benda dari suatu titik ke titik lainnya. Fungsi crane sebagai mesin sederhana yang membantu manusia untuk memindahkan beban diluar kemampuan manusia. Sebuah crane biasanya dilengkapi dengan kawat tali yang bisa

naik dan turun yang dililitkan pada suatu drum. Beban untuk dipindahkan biasanya berat, besar dan berbahaya, yang tidak dapat ditangani secara manual oleh pekerja. Ada banyak jenis crane yang telah digunakan, seperti *tower crane, overhead crane, ship to shore crane, booming crane, gantry crane*, dll.

Crane secara luas dipakai di industri, pelabuhan, galangan kapal, maupun konstruksi bangunan tinggi untuk memindahkan barang yang berukuran besar, sangat berat dan berbahaya. Crane dilengkapi dengan trolley yang membawa

barang dalam bidang horizontal. Beban dihubungkan ke *trolley* melalui tali/kawat dengan panjang tali bisa diatur melalui mekanisme derek.

Masalah ayunan pada sistem *crane* telah mengundang perhatian banyak peneliti untuk mencari solusi. Strategi pengaturan sistem *crane* dikelompokkan menjadi dua pendekatan. Pertama, operator dilibatkan dalam lup dan dinamika beban yang diubah sedemikian hingga pekerjaan operator lebih mudah, antara lain dengan menambahkan redaman, filter, delay, dll. Kedua, operator tidak dilibatkan dalam lup atau dengan kata lain operasi *crane* dilakukan secara otomatis. Pendekatan ini dilakukan dengan beberapa metode atau teknik antara lain, teknik pertama didasarkan pada pembangkitan trayektori untuk memindahkan beban ke titik tujuan dengan minimum ayunan. Teknik kedua didasarkan pada umpan balik posisi dan sudut ayunan. Teknik ketiga didasarkan pada pembagian problem desain controller, yang terbagi dua bagian : *controller anti-swing* dan *controller tracking*. Masing-masing dirancang secara terpisah kemudian digabungkan untuk mendapatkan performansi dan kesetabilan sistem yang diinginkan secara keseluruhan.^[2]

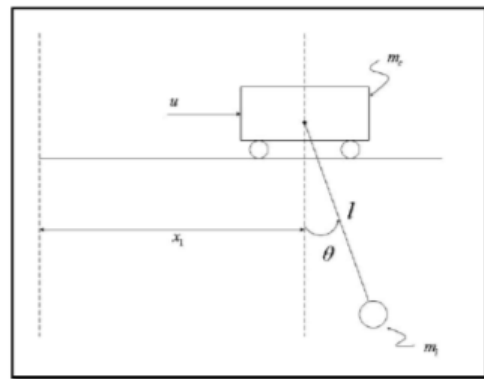
Ada beberapa penelitian yang telah mencoba berbagai metode. Irwing Antonio T, dkk (2011) telah menggunakan metode fuzzy logik untuk meredam ayunan. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan model sistem *crane* dengan pengontrolan *fuzzy* ini mampu memindahkan beban dengan ayunan maksimum terjadi 14,1° saat membawa beban 500gr berpindah sejauh 135cm. Selanjutnya, Muhmud Iwan Solihin, dkk (2007) yang menggunakan metode jaringan syaraf tiruan dan menghilangkan sensor nyata. Pada percobaan ini ayunan maksimum saat crane bergerak 0,22rad atau sama dengan 12,61°. Dan begitu juga dengan Ismail Rokhim, dkk (2012) yang menggunakan metode *Sliding Mode Control* dengan Kompensator Proportional-Integral. Dari macam penelitian yang disebutkan diatas ada kekurangan dan kelebihan masing – masing. Simpangan yang terbaik ada pada penelitian menggunakan metode jaringan syaraf tiruan yang mencapai 0,22 rad atau 12,61°. Dengan penelitian ini diharapkan mendapatkan hasil simpangan ayunan yang kecil dan settling time mencapai posisi yang cepat.

2 Pemodelan Gantry Crane

Untuk mendapatkan model matematika dari sistem *gantry crane*, langkah pertama yang harus diketahui adalah koordinat pada *gantry crane* dengan parameter – parameter geometriknya.

Model *gantry crane* terlihat pada gambar 2.2. Dari gambar dapat dilihat bahwa beban tergantung di ujung *crane*. Pada waktu tertentu, *trolley* akan berpindah ke x_1 , gaya yang ditimbulkan dinotasikan dengan u , sedangkan usaha sangat mempengaruhi oleh massa dan gravitasi. Notasi dari massa *trolley* adalah m_c , massa beban adalah m_L , panjang tali/kawat *crane* adalah l , dan sudut antara *crane* dengan sumbu vertikal adalah θ . Dengan menggunakan hukum newton kedua maka:

$$\Sigma F = m \cdot a$$



Gambar 2.1 Gantry Crane Model (Kantha Rao,2012)

Persamaan dinamika *gantry crane* dapat diturunkan, antara lain gerak *trolley* arah horisontal seperti pada persamaan:

$$m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} = u + F \sin \theta$$

Sedangkan untuk gerak *trolley* arah vertikal seperti persamaan:

$$F \cos \theta + m_c g = 0$$

Untuk gerak beban arah horisontal, persamaan dinamika *gantry crane* dapat diturunkan seperti pada persamaan:

$$m_L \frac{d^2 (x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = -F \sin \theta$$

Sedangkan untuk gerak beban arah vertikal seperti pada persamaan:

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

Dari persamaan (2) dan (4),

$$m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} = u - \frac{m_L}{m_c} \frac{d^2 (x_1 + l \sin \theta)}{dt^2}$$

$$m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} + m_L \frac{d^2 (x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = u$$

Dari Persamaan (4) dan (5),

$$m_L \frac{d^2 (l \cos \theta)}{dt^2} = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} m_L \frac{d^2 (x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} + m_L g$$

$$m_L \frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} \cdot \sin \theta - m_L \frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} \cos \theta = m_L g \sin \theta$$

Dimana,

$$\frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = \ddot{x}_1 + l\ddot{\theta} \cos \theta - l\dot{\theta}^2 \sin \theta$$

$$\frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} = -l\ddot{\theta} \sin \theta - l\dot{\theta}^2 \cos \theta$$

Untuk persamaan (6),(7),(8),dan(9) didapatkan

$$(m_L + m_C)x_1 + m_L l(\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) = u$$

$$m_L \ddot{x}_1 \cos \theta + m_L l \ddot{\theta} = -m_L \sin \theta$$

$$x_1 \cos \theta + l \ddot{\theta} = -g \sin \theta$$

Persamaan (10) dan (11) Dituliskan dengan state space sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} m_L + m_C & m_L l \cos \theta \\ m_L \cos \theta & m_L l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_L l \dot{\theta}^2 \sin \theta + u \\ -m_L \sin \theta \end{bmatrix}$$

Hasil dari persamaan diatas :

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u + m_L \sin \theta (l \dot{\theta}^2 + g \cos \theta)}{m_C + m_L \sin^2 \theta} \\ \frac{u \cos \theta + m_L \sin \theta (g + l \dot{\theta}^2 \cos \theta) + g m_C \sin \theta}{l(m_C + m_L \sin^2 \theta)} \end{bmatrix}$$

Persamaan yang diperoleh pada (2.14) adalah persamaan non linier. Hal ini tidak dapat digunakan untuk analisis, desain atau tujuan lain karena perhitungan terlalu rumit. Oleh karena itu lebih mudah untuk menerapkan linierisasi untuk mendapatkan model linier. Untuk itu, asumsi bahwa sudut defleksi kecil, dan juga memiliki kecepatan sudut kecil, maka kita harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

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

Dari persamaan diatas, maka diperoleh :

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u + m_L g \theta}{m_C} \\ -\frac{u + m_L g \theta + g m_C \theta}{l m_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{m_L g}{m_C} \\ 0 & -\frac{m_L + m_C}{l m_C} g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_C} \\ -\frac{1}{l m_C} \end{bmatrix} u$$

Untuk memudahkan penulisan, model matematika sistem *gantry crane* dinyatakan dalam empat vektor state yaitu $x = [x_1 x_2 x_3 x_4]$, dimana:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Posisi trolley} \\ \text{Kecepatan trolley} \\ \text{posisi sudut trolley} \\ \text{kecepatan sudut trolley} \end{bmatrix}$$

Kecepatan *trolley* x_3 merupakan turunan pertama dari posisi *trolley* x_1 dan kecepatan sudut x_4 merupakan turunan pertama dari sudut batang *crane* x_2 . Dari persamaan yang sudah diturunkan, maka model matematika dalam bentuk persamaan state dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

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

3 Perancangan Sistem

3.1 Prototipe Gantry Crane

Perancangan prototipe sistem *crane* ini akan menggunakan motor DC sebagai mekanisme Bergeraknya *trolley*. Saat *crane* mulai bergerak maju, maka akan ada ayunan pada beban. Ayunan tersebut akan dideteksi dengan sensor sudut dan hasil dari sensor posisi yang akan dikirimkan ke pengendalian.



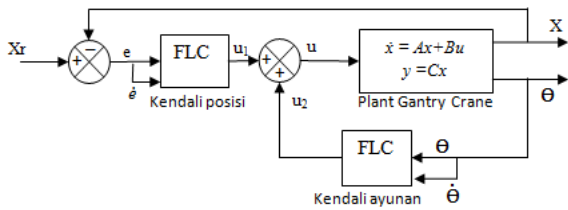
Gambar 3.1 Prototipe Gantry Crane

Terdapat dua pergerakan yang dapat dilakukan pada penelitian crane ini, yaitu hoist dan trolley. Tiap pergerakan akan digerakan oleh motor DC. Hoist dikontrol langsung oleh rangkaian relay, sedangkan trolley dikontrol oleh arduino uno dan driver motor menggunakan mosfet IRF540N N-channel.

3.2 Fuzzy Inference Sistem

Pada penelitian ini digunakan perancangan dengan membagi sistem kendali menjadi dua, yaitu kendali ayunan dan kendali posisi. Pada dua

kendali ini akan digunakan sistem kendali. Masing – masing kendali dirancang terpisah dan kemudian digabungkan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.



Gambar3.2 Diagram blok gantry crane

Ayunan / kecepatan ayunan	P	Z	N
θ	P	P	P
	Z	N	Z
	N	N	N

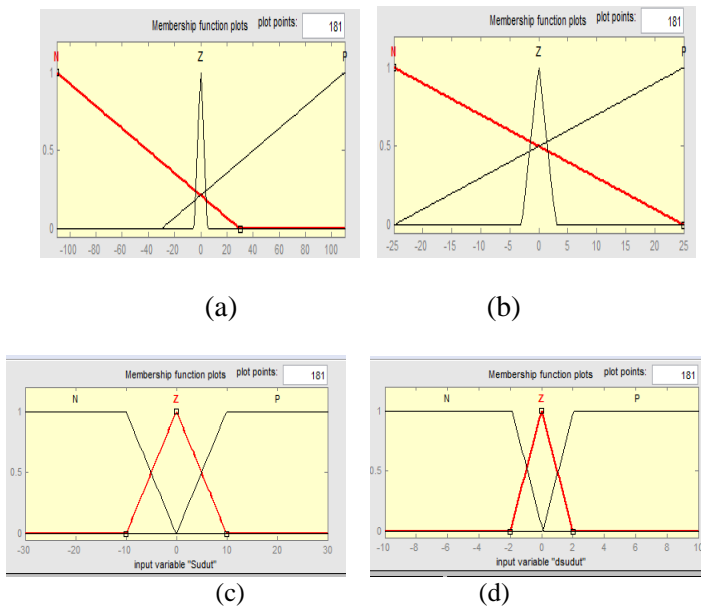
4 Pengujian dan Analisa

Sistem *crane* ini diuji dengan beban yang sama yaitu 2,5kg. Setiap pengujian tersebut akan diujikan dengan berbagai jarak sepanjang 100cm. setiap pengujian dilakukan dua kali agar mendapatkan hasil yang lebih objektif. Ada 2 metode pengujian yang akan dilakukan yaitu: pengujian manual, dengan pengendali fuzzy

4.1 Pengujian Kontrol Manual

Percobaan pertama adalah dengan menggunakan kontrol manual. Kontrol manual ini bertujuan melihat hasil data posisi dan ayunan yang terjadi. Biasanya kontrol ini melibatkan kemampuan operator untuk menyeimbangkan ayunan. Percobaan yang dilakukan dengan mengerjakan *crane* berpindah dari jarak 0 cm ke 100 cm. percobaan dilakukan 4 kali dengan panjang tali 20cm ,30 cm, 40 cm, dan 50cm. Berikut hasil percobaan yang telah dilakukan.

a. Percobaan manual panjang tali 20cm



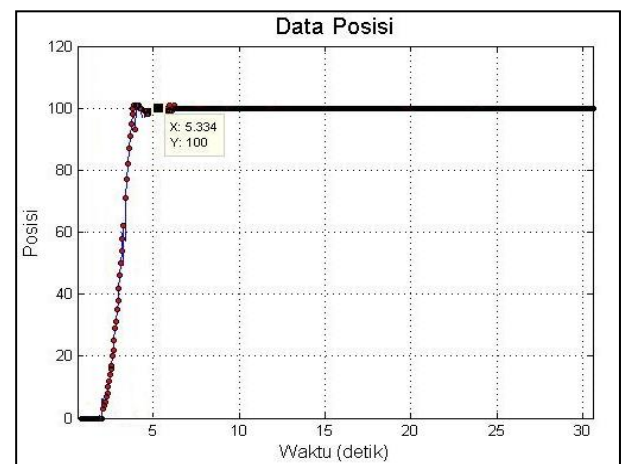
Gambar 3.3 Fungsi keanggotaan input. (a) error posisi (b) error kecepatan (c)error ayunan (d)kecepatan ayunan

Tabel 3.1 Aturan fuzzy kontrol posisi

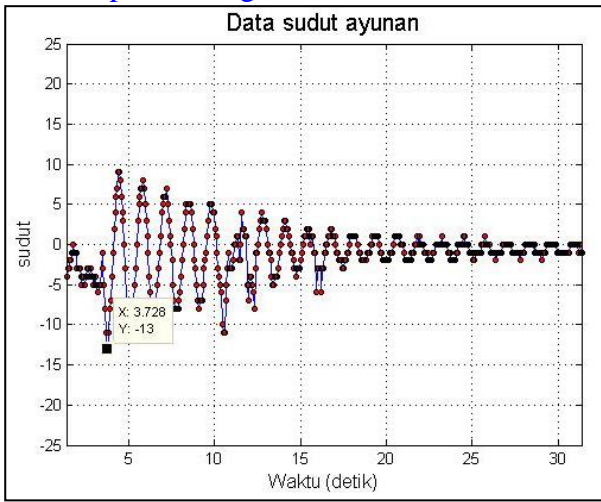
Error / Error rate \dot{e}	\dot{e}		
	P	Z	N
e	P	P	P
	Z	N	Z
	N	N	N

Tabel 3.2 Aturan fuzzy kontrol ayunan

Error Sudut	$\dot{\theta}$
-------------	----------------



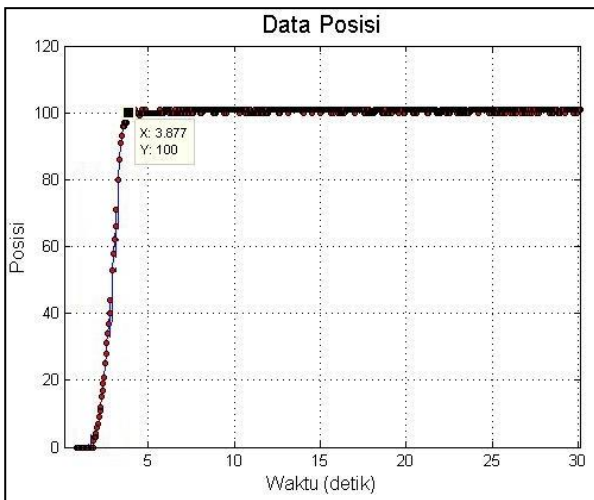
(a)



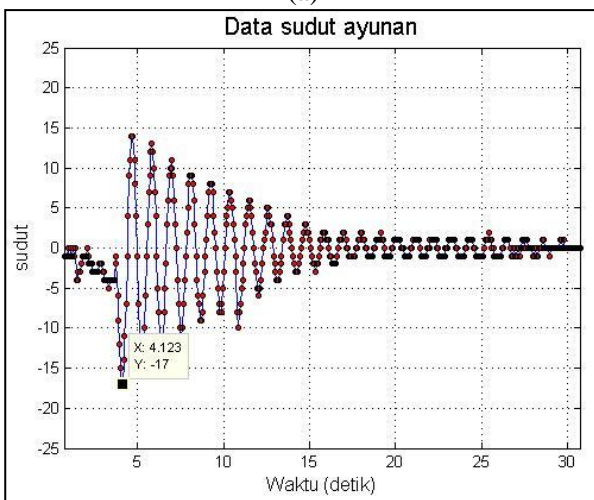
(b)

Gambar 4.1 Percobaan kontrol manual panjang tali $l = 20$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

b. Percobaan manual panjang tali 30cm



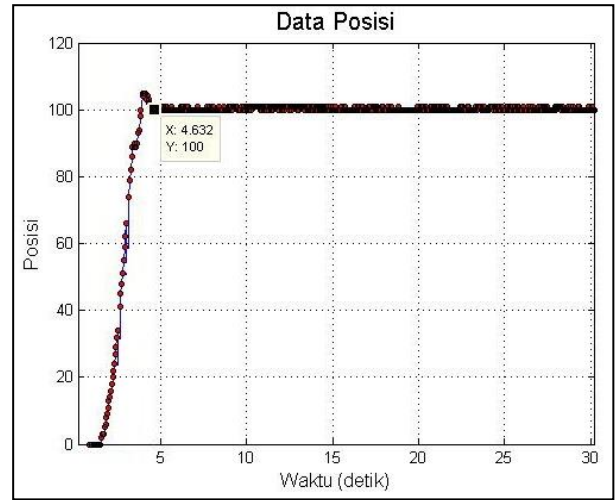
(a)



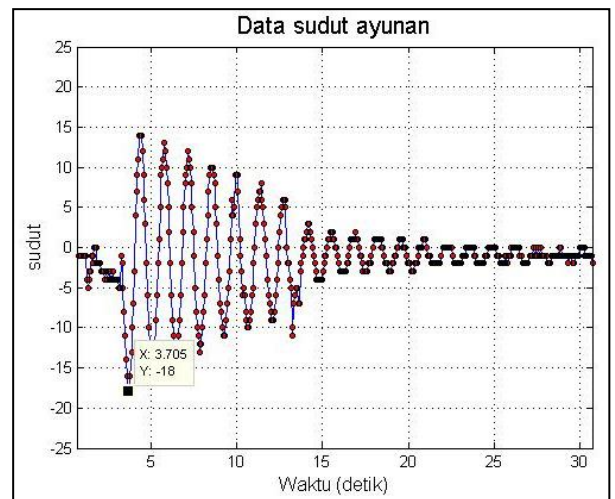
(b)

Gambar 4.2 Percobaan kontrol manual panjang tali $l = 30$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

c. Percobaan manual panjang tali 40cm



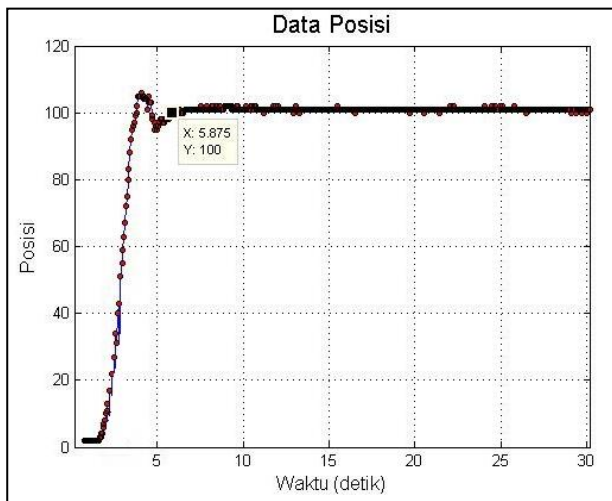
(a)



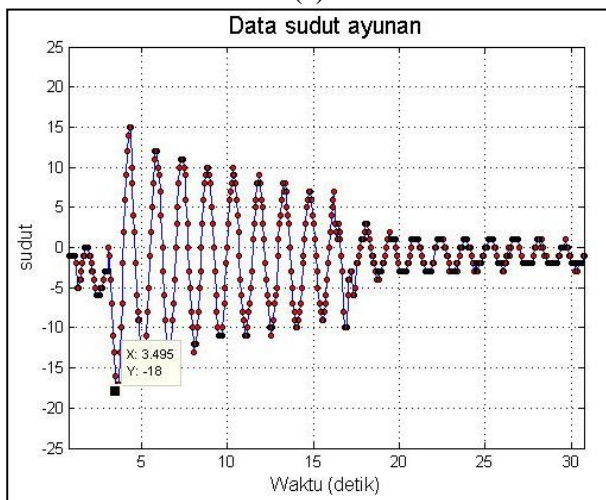
(b)

Gambar 4.3 Percobaan kontrol manual panjang tali $l = 40$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

d. Percobaan manual panjang tali 50cm



(a)



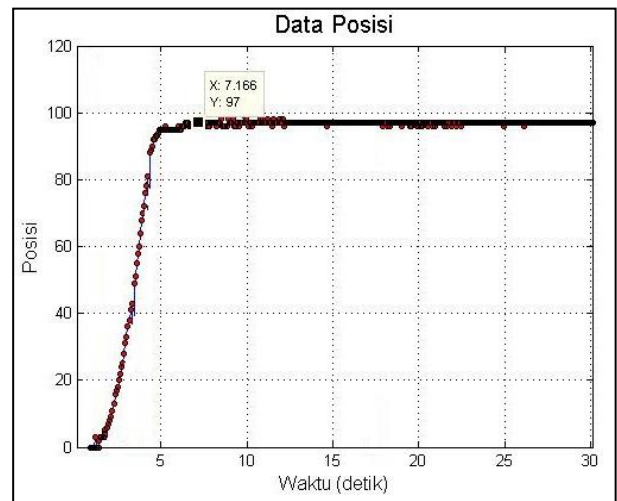
(b)

Gambar 4.4 Percobaan kontrol manual panjang tali $l = 50$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

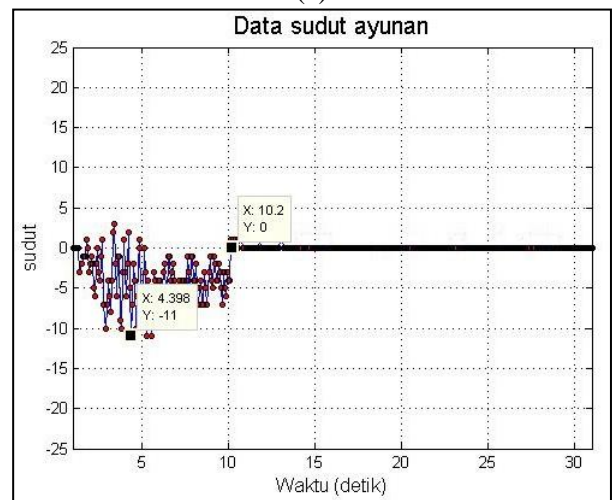
4.2 Pengujian Kontrol Fuzzy

Sama seperti percobaan sebelumnya dilakukan dengan menggunakan panjang tali yang berbeda yaitu 20cm, 30cm, 40 cm, dan 50cm. Jarak yang akan ditempuh crane adalah dari posisi 0 cm ke 100 cm. berikut percobaan yang telah dilakukan.

a. Percobaan fuzzy panjang tali 20cm



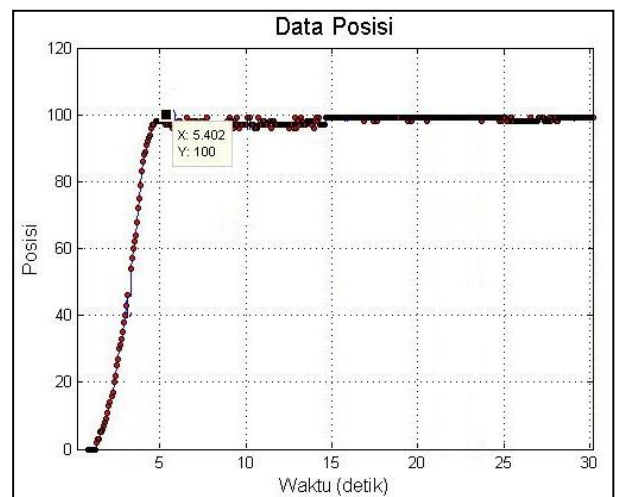
(a)



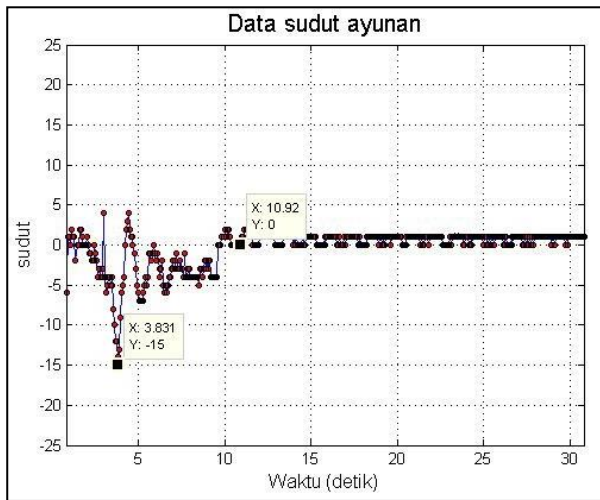
(b)

Gambar 4.5 Percobaan kontrol fuzzy panjang tali $l = 20$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

b. Percobaan fuzzy panjang tali 30cm



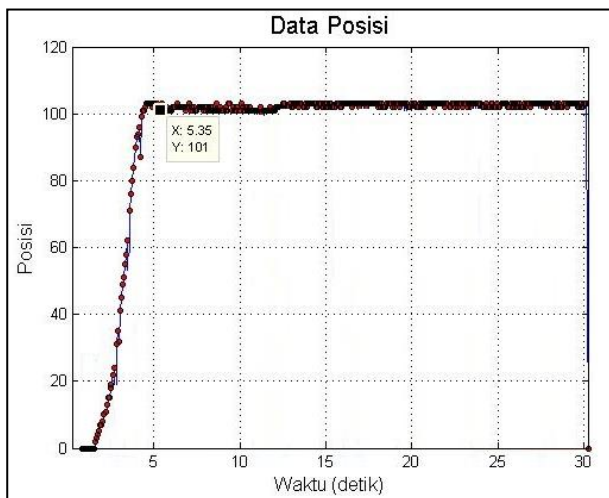
(a)



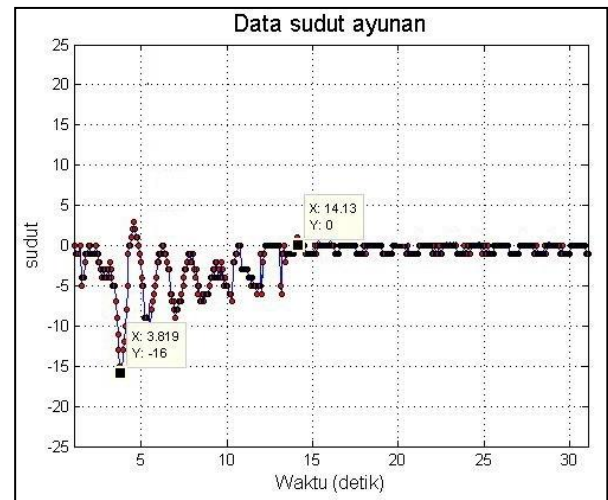
(b)

Gambar 4.6 Percobaan kontrol fuzzy panjang tali $l = 30$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

c. Percobaan fuzzy panjang tali 40cm



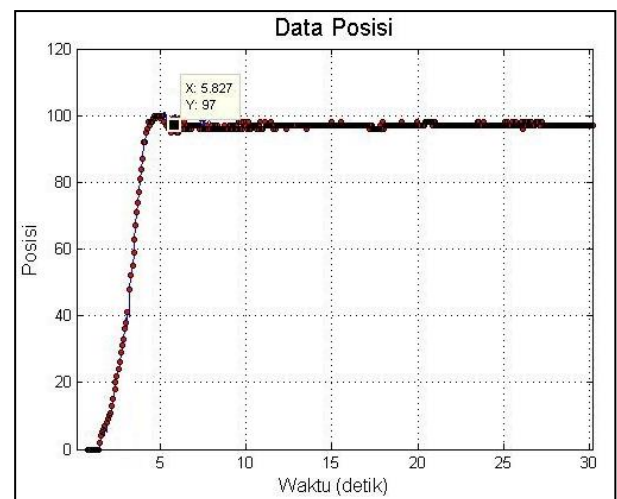
(a)



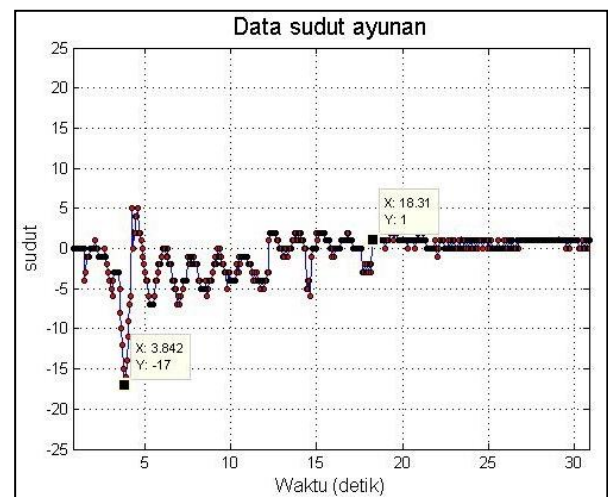
(b)

Gambar 4.7 Percobaan kontrol fuzzy panjang tali $l = 40$ cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

d. Percobaan fuzzy panjang tali 50cm



(a)



(b)

Gambar 4.8 Percobaan kontrol fuzzy panjang tali l = 50 cm, (a) posisi crane, (b) sudut ayunan crane.

4.3 Hasil Pengujian

Berdasarkan data – data percobaan yang telah dilakukan, maka didapat hasil – hasil percobaan yang dapat disimpulkan. Berikut ringkasan hasil percobaan dilihat pada tabel:

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan pengendali manual

Percobaan	Panjang tali (cm)	Waktu tempuh (s)	Maksimum ayunan (°)
1	20	5,334	13
2	30	3,877	17
3	40	4,632	18
4	50	5,875	18

Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengendali Fuzzy

Percobaan	Panjang tali (cm)	Posisi Akhir (cm)	Error (cm)	Waktu tempuh (s)	Maksimum ayunan (°)	Settling Time (s)
1	20	97	-3	7,1	11	10,2
2	30	100	0	5,4	15	10,92
3	40	101	1	5,36	16	14,13
4	50	97	-3	5,82	17	18,31

Pada Tabel diatas menunjukkan adanya penurunan waktu tempuh untuk mendapatkan ayunan yang minimal dan settling time yang rendah. Terlihat pada pengendali manual crane bergerak cepat dan tidak dapat mengendalikan ayunan dan yang terjadi crane berayun lama dan simpangannya besar. Sedangkan untuk pengendali fuzzy mampu mengendalikan osilasi beban, sehingga beban tidak beresilasi terlalu besar dan lama. Secara otomatis crane akan bergerak menyeimbangi ayunan.

5 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa permasalahan kontroler yang dibuat, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk mengendalikan posisi dan ayunan gantry crane ini dibuat dengan menggunakan 2 buah kontroler yang terpisah yaitu kontroler posisi dan kontroler ayunan.

Kemudian disatukan menjadi kontroler optimal.

2. Sistem kendali fuzzy dapat memindahkan barang dengan ayunan yang minimal dibandingkan dengan kendali manual. Secara otomatis beban yang berayun akan diimbangi crane.
3. Simpangan maksimum dengan pengendali fuzzy terjadi pada panjang tali 50cm yaitu 17o. Untuk simpangan maksimum terkecil ada pada percobaan panjang tali 20cm sebesar 11o. ini dikarenakan momen beban yang disebabkan panjang tali. Dibandingkan dengan kendali manual. Simpangan maksimum 18o dan menyebabkan crane beresilasi lama.

Daftar Pustaka

- [1] Antonio, irwing dan Mulyadi. *Sistem Crane dengan pengontrol fuzzy untuk meredam ayunan*. Electrical Eeneering Journal. Vol.1 (2011) No 2, pp 192-210.
- [2] Rokhim, Ismail. Rameli, Moch dan Fathoni, Ali. *Pengaturan Anti swing pada gantry crane menggunakan sliding control dengan kompensatorl proposional-integral*. JAVA Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol. 10, No.1, Apr . 2012, ISSN 1412-8306.
- [3] Melindawati, Rosita., Agustinah Trihastuti. *Desain Kontroler Fuzzy untuk Sistem Gantry Crane*. Jurnal Teknik POMITS Vol.3, No1,(2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- [4] Omar, H.M., “Control of Gantry and Tower Cranes”, *Ph.D. Dissertation*, Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia, 2003.
- [5] Zawawi, M.A., dkk, “Feedback Control Scheme for Gantry Crane System incorporating Payload”, *IEEE Symposium on Industrial and Applications (ISIEA2011)*, 2011.
- [6] Wahyudi & Jalani J., “Sensorless Anti-swing Control for Automatic Gantry Crane System: Model-based Approach”, *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562, vol.2, no.1, pp. 147-161, 2007.
- [7] Rao, Kantha Simanjalam, “Position and Anti-Sway Control for a Gantry Crane System using Fuzzy-Tuned PID Controller”, *Thesis*, Universitas Teknologi Malaysia, 2012.

- [8] Kusumadewi. Sri. *Artificial Intelegence (Teknik dan aplikasinya)*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- [9] Kusumadewi, Sri., & Hartati, Sri. *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf Edisi 2*, Yogyakarta: Graha Ilmu 2010.
- [10]<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [11] Power Mosfet IRF540, SiHF540 Vishay datasheet. www.vishay.com/docs/91021/91021.pdf
- [12] DC Geared Motors Nichibo KYSAN electronics 37GB Series Datasheet. www.kysanelectronics.com/graphics/Nichibo.pdf