

Pengaturan Posisi Troli Terhadap Objek Pada Prototype Robot Troli Pengikut Manusia

Fenza Maulana, Siswoko, Ratna Ika Putri
 DIV Teknik Elektronika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
 Jl. Soekarno Hatta No. 09, Malang 65144
 fenzamail.maulana@gmail.com

Abstrak –Troli merupakan alat yang dapat membantu pekerjaan manusia untuk membawa barang. Akan tetapi, dengan troli yang umum digunakan, pengguna harus mendorong troli tersebut untuk berpindah tempat sehingga mengurangi aktifitas tangan untuk melakukan kegiatan lainnya. Cara tersebut tidak efektif, oleh karena itu dibutuhkan robot troli pengikut manusia. Robot troli akan mempertahankan jarak dengan objek manusia yg diikutinya, agar jarak Troli tidak terlalu jauh dengan objek manusia. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan kontroler untuk menjaga kestabilan jarak robot terhadap objek yang diikutinya. Metode kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode PID yang ditanamkan dalam board Arduino Uno untuk mengontrol aktuator berupa motor DC, yang mendapatkan umpan balik dari sensor jarak infrared yang terletak pada sisi depan Troli. Berdasarkan hasil pengujian, sensor dan aktuator memiliki nilai rata-rata error dibawah 5%. Setelah dilakukan tuning PID dan perhitungan melalui metode Ziegler Nichols serta dibandingkan dengan Trial and Error, didapat nilai-nilai parameter PID yang baik, yaitu $K_p= 6$, $K_i=0.1$ dan $K_d=0.05$, menghasilkan Delay Time (T_d) = 0.9s, Rise Time (T_r) = 1.1s, Peak Time (T_p) = 1s, Settling Time (T_s)= 1.3s, Overshoot=6.9%, $ess= 1$ Cm.

Kata Kunci: robot troli, pengikut manusia, PID

I. PENDAHULUAN

Saat ini, robot sangat berperan membantu pekerjaan manusia bahkan menggantikan pekerjaan manusia. Dari berbagai pekerjaan manusia tersebut, salah satunya yaitu pekerjaan manusia membawa barang dengan menggunakan troli [1]. Troli digunakan untuk mempermudah membawa barang belanjaan maupun barang bawaan lainnya. Akan tetapi, dengan troli yang umum digunakan, pengguna harus mendorong troli tersebut untuk berpindah tempat sehingga mengurangi aktifitas tangan untuk melakukan kegiatan lainnya [2]. Terdapat 3 hal agar troli dapat mengikuti pengguna : 1. Troli dapat mengatur posisi jarak dengan pengguna, 2. Troli mampu menghindari *obstacle* di sisi kanan, kiri, depan dan belakang, 3. Troli mampu mengenali pengguna didepannya tanpa terganggu pengguna lainnya [3]. Namun, pada penelitian kali ini, hanya membahas bagaimana troli dapat mengatur posisi jarak dengan pengguna, agar nantinya jarak troli dengan pengguna tidak terlalu jauh. Sehingga, pada tugas akhir ini dibuat pengaturan posisi berdasarkan pengukuran jarak antara troli dengan manusia yang diikuti. Pengukuran jarak dilakukan dengan menggunakan sensor infrared sharp GP2Y0A02. Sedangkan pengaturan posisi

berdasarkan pengukuran jarak dilakukan menggunakan metode kontrol PID. Kontroler PID adalah kontroler berumpan balik yang paling populer di dunia industry. Kontroler PID terbukti dapat memberikan performansi kontrol yang baik meski mempunyai algoritma sederhana yang mudah dipahami [4]. Penggunaan kontrol PID nantinya agar jarak pengguna dengan troli selalu konstan sesuai dengan setpoint dan juga agar didapatkan respon sistem yang cepat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1. PID (Proportional Integral Derivative)

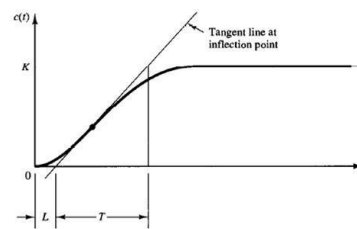
Pada penelitian ini menggunakan metode pengendalian berupa PID controller. Untuk menerapkan metode PID dilakukan dengan beberapa langkah yaitu :

- Mendapatkan respon sistem *plant* tanpa kontroler
- Tuning nilai parameter K_p , K_i , dan K_d .
- Menerapkan nilai parameter PID pada *plant*.

Salah satu metode *tuning* yang dapat digunakan adalah metode kurva Ziegler - Nichols yang dirumuskan dengan:

a. Kurva Reaksi

Metode ini didasarkan pada respon *plant* terhadap masukan *unit-step* dalam *loop* terbuka. Kurva tanggapan *plant* digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T , yang kemudian nilai tersebut menjadi acuan untuk menentukan nilai parameter PID.



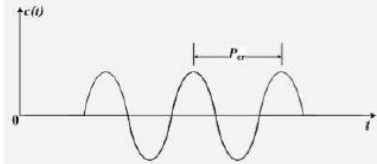
Gambar 1 Rangkaian Reaksi berbentuk S [5]

Tabel 1 Formula Parameter PID Berdasarkan Kurva Reaksi [5]

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5 L

b. Osilasi

Dalam metode osilasi Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $K_p=0$ dan $T_d=0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol integral, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , untuk mendapatkan osilasi yang berkesinambungan. Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan dengan formula yang ditunjukkan dalam tabel 2



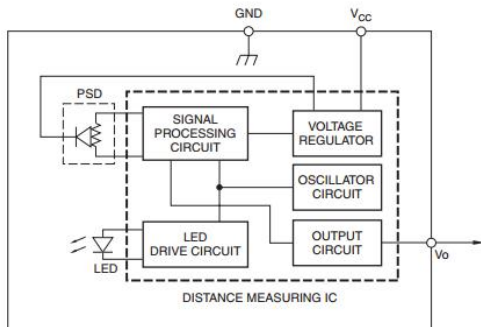
Gambar 2 Respon osilasi dengan periode P_{cr} [5]

Tabel 2 Formula Parameter PID dengan Osilasi [5]

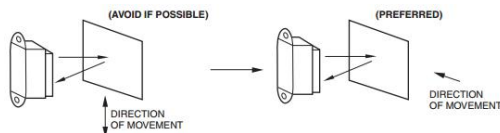
Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	0,5 K_{cr}	∞	0
PI	0,45 K_{cr}	$\frac{1}{2}$ P_{cr}	0
PID	0,6 K_{cr}	0,5 P_{cr}	0,125 P_{cr}

2. Sensor Jarak Infrared Sharp GP2Y0A02

Sensor jarak infrared Sharp GP2Y0A02 adalah sensor inframerah yang berfungsi mengukur serta mengetahui letak objek yang berbeda jaraknya.



Gambar 3 Blok Diagram Sensor Infrared [6]



Gambar 4 Arah Pendeteksian Sensor Infrared [6]

3. PWM

PWM (Pulse width Modulation), adalah sebuah metode untuk pengaturan kecepatan perputaran, dalam hal ini adalah motor DC untuk gerak robot. PWM dapat dihasilkan oleh empat metode, sebagai berikut :

- a). Metode analog
- b). Metode digital
- c). IC diskrit
- d). Mikrokontroler

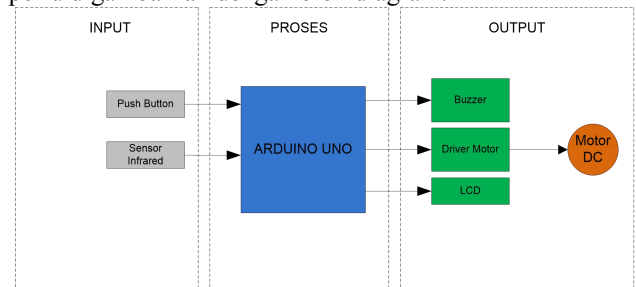
Pada robot ini, metode PWM dikerjakan oleh mikrokontroler pada Arduino. Metode PWM ini akan mengatur lebar atau sempitnya periode pulsa aktif yang dikirimkan oleh mikrokontroler ke driver motor. Pada pengaturan kecepatan robot, nilai PWM mulai dari 0-255. Secara analog besaran PWM dihitung dalam prosentase, nilai ini didapat dari perbandingan: $T_{high} / (T_{high} + T_{low}) * 100\%$. Dimana T adalah periode atau waktu tempuh untuk sebuah pulsa, yang terbagi menjadi bagian puncak positif (T_{high}) dan puncak negatif (T_{low}). Semakin rapat periode antar pulsa, maka frekuensi yang dihasilkan akan semakin tinggi, ini berarti kecepatan akan bertambah. Semakin lebar jarak antar pulsa, maka frekuensi semakin rendah ini berarti kecepatan berkurang atau menurun. Kondisi pemberian kecepatan harus disesuaikan dengan kondisi track yang akan dilewati oleh robot, misal pada saat jalan lurus, naik atau turun harus mendapatkan nilai PWM yang tepat. [5]

III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan keseluruhan sistem yang terdiri dari tiga tahapan yaitu perancangan mekanik, elektrik dan perancangan kontrol.

1. Blok Diagram Kontrol

Di dalam perancangan dan pembuatan suatu alat, terdapat komponen-komponen utama ataupun pendukung sehingga perlu digambarkan dengan blok diagram.



Gambar 5 Blok Diagram Kontrol

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan fungsi dari masing-masing blok sebagai berikut:

- 1) Sensor Jarak Infrared Sharp GP2Y0A02
- 2) PushButton
- 3) Arduino Uno
- 4) LCD 16x2
- 5) Driver Motor DC IBT-2.
- 6) Motor Dc 19v-6A
- 7) Buzzer

2. Perancangan Mekanik

Pada perancangan mekanik ini, bahan utama yang digunakan adalah stainless dengan diameter 1 Cm. kemudian untuk tempat motor DC menggunakan bahan plat dengan tebal 2mm. Di bagian depan dan belakang menggunakan 2 buah roda karet dengan diameter 5cm.

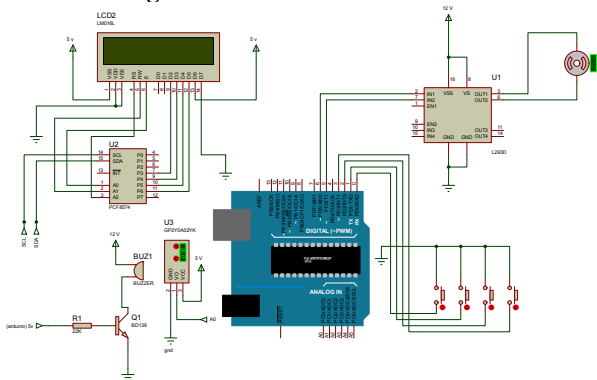


Gambar 6 mekanik troli tampak samping



Gambar 7 mekanik troli tampak depan

3. Perancangan Elektrik



Gambar 8 rangkaian keseluruhan sistem

Untuk dapat mengatur jarak pada robot troli yang mengikuti pengguna sesuai dengan *set point* yang diinginkan, maka dibutuhkan suatu perancangan elektrik untuk mengatur jarak secara otomatis kemudian nilainya akan ditampilkan pada LCD berupa jarak troli dengan satuan Cm. Proses ini membutuhkan dukungan berupa perancangan elektrik dan pembuatan elektrik, sedangkan perancangan dan pembuatan elektrik untuk rangkaian dan komponen penunjangnya meliputi: Arduino Uno, sensor infrared Sharp, *driver* motor, rangkaian regulator, rangkaian buzzer, rangkaian LCD dengan I2C dan rangkaian *push button*.

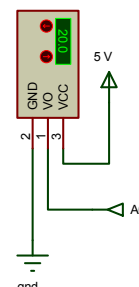
a. Arduino Uno

sebagai pengolah data dari sistem keseluruhan digunakan sebagai pengendali Jarak berdasarkan nilai yang diberikan oleh kontrol PID

Tabel 3 Konfigurasi Pin pada Arduino

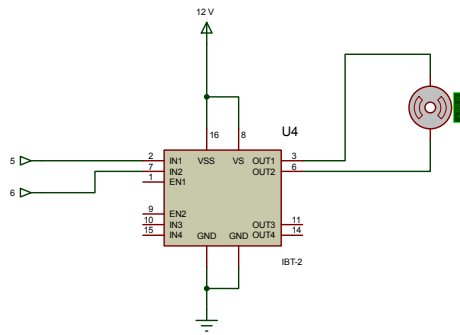
Input	Pin
- 4 Pushbutton	0,1,2,3
- Sensor Infrared: Vcc, Gnd, output	Output : A0
Output	Pin
- LCD dengan I2C : Vcc, Gnd, SDA, SCL	SDA, SCL
- Driver Motor DC : Renb, Lenb, Rpwm, Lpwm, Vcc, Gnd	Rpwm: 6 Lpwm: 5
- Buzzer	8

b. Sensor Infrared



Gambar 9. Rangkaian Sensor Infrared sebagai pendeteksi jarak troli dengan pengguna yang diikuti. Pemilihan sensor infrared dikarenakan cara kerja sensor tersebut berdasarkan cahaya lurus yang dipancarkan dan juga dapat mendeteksi objek yang tidak rata atau bergelombang.

c. Driver motor DC IBT-2



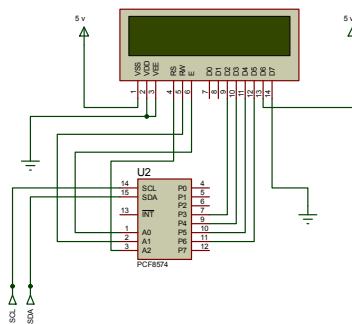
Gambar 10 Rangkaian Driver IBT-2

Untuk menggerakkan motor DC yang diperlukan tegangan sebesar 12 Volt DC dan arus sebesar 6 A, sehingga dibutuhkan driver motor yang sesuai untuk menggerakkan motor DC yaitu menggunakan modul IBT-2 H-Bridge. IBT-2 memiliki 6 kaki yang terhubung ke board Arduino uno, yaitu *Rpwm*, *Lpwm*, *Renb*, *Lenb*, *Vcc*, *gnd*.

Tabel 4 Pin Driver IBT-2

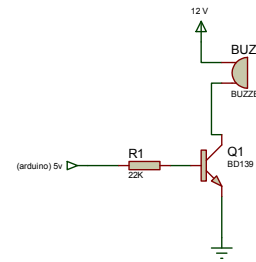
Pin IBT-2	Port Arduino
Rpwm	6
Lpwm	5
Renb	5v Arduino
Lenb	5v Arduino
Vcc	5v Arduino
Gnd	Gnd

d. LCD 16x2



Gambar 11 Rangkaian LCD digunakan sebagai display dari sistem untuk menampilkan Jarak actual dan setpoint jarak.

e. Buzzer



Gambar 12 Rangkaian Buzzer

digunakan sebagai indikator jika troli kehilangan jarak dengan pengguna. Perhitungan :

Diketahui :

$I_c = 500mA, I_{oh} = 20mA, V_{be} = 0.7 Volt$

Jawab :

$I_b = 50\% \times I_{oh} \quad (1)$

$= 10mA$

$R_b = \frac{5 - 0.7}{10mA} = 4k7\Omega$

$H_{fe \min} = \frac{500}{10} = 50$

f. Motor DC

sebagai penggerak utama troli. Menggunakan 1 buah motor DC, dengan Torsi 40 Kg.cm. Dibutuhkan torsi besar karena, berat troli mencapai 15 Kg, dan dibutuhkan kecepatan maksimum 1.3 m/s.

4. Spesifikasi

Spesifikasi hardware dalam perancangan alat ini terdiri dari spesifikasi elektronik dan spesifikasi mekanik.

• **Spesifikasi Mekanik**

- 1) Dimensi
 - Panjang : 50 cm
 - Lebar : 30 cm
 - Tinggi : 70 cm
 - Diameter Roda : 5 Cm
- 2) Bahan : *Stainless Steel*

• **Spesifikasi Elektronik**

Komponen	Type
Arduino	UNO
Driver Motor DC	IBT-2
Motor DC	OEM ODM 57mm
Sensor Infrared	Sharp GP2Y0A02

5. Perancangan PID (*Proportional Integral Derivative*)

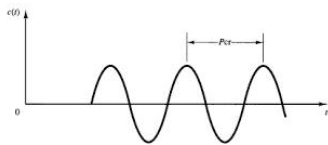
Pada perancangan kontrol PID ini, Pencarian nilai parameter K_p , K_i dan K_d dapat dilakukan dengan cara Trial and error atau dapat melalui perhitungan matematis menggunakan teori Ziegler Nichols-Osilasi.

1. Trial and Error

Langkah-langkah mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d dengan metode Trial Error dilakukan dengan memberikan nilai 0 ke K_i dan K_d , lalu nilai K_p ditingkatkan sampai mendapatkan respon system Osilasi yang baik. Setelah mendapatkan

respon osilasi, Nilai Kp dibagi 2. Setelah itu, mengatur nilai Kil dan Kd sampai mendapatkan respon system yang baik.

2. Perhitungan matematis menggunakan metode Ziegler Nichols-Osilasi



Gambar 13 Sinyal Osilasi

Tabel 5 Aturan Ziegler Nichols

Tipe Kontrol	Kp	Ti	Td
P	0,5 Kcr	~	0
PI	0,45 Kcr	1/1,2 Pcr	0
PD	0,8 Kcr	~	0,125 Pcr
PID	0,6 Kcr	0,5 Pcr	0,125 Pcr

Langkah-langkah untuk melakukan tuning PID dimulai dengan memberi nilai 0 pada parameter Ki dan Kd. Kemudian masukkan nilai Kp sedikit demi sedikit hingga system mendapatkan respon osilasi yang baik. Selanjutnya menentukan nilai Kcr dan Pcr. Nilai Kcr adalah nilai Kp, sedangkan nilai Pcr adalah nilai perioda. Nilai-nilai ini didapat ketika telah mendapatkan nilai respon osilasi yang baik. Setelah itu menghitung nilai Ti dan Td sesuai dengan aturan dari metode Ziegler Nichols sesuai dengan tipe kontrolnya. Berikut perhitungannya dengan menggunakan tipe kontrol PID :



Gambar 14 Grafik Respon Sistem Osilasi

$$Kcr = Kp = 35$$

$$Pcr = 16 - 12 = 4$$

Sehingga, didapatkan :

$$Kp = 0,6 \times Kcr \tag{2}$$

$$= 21$$

$$Kp = 0,6 \times 35$$

Setelah mendapatkan nilai Kp maka disubstitusikan kedalam formula sesuai Tabel 1 :

$$Ti = 0,5 \times Pcr \tag{3}$$

$$= 0,5 \times 4$$

$$= 2$$

$$Td = 0,125 \times Pcr \tag{4}$$

$$= 0,125 \times 4$$

$$= 0,5$$

Setelah mendapatkan nilai Kp, Ti, dan Td, maka dapat dihitung nilai parameter PID sebagai berikut:

$$Kp = 21 \tag{5}$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \tag{6}$$

$$= \frac{21}{2}$$

$$= 10.5$$

$$Kd = Kp \times Td \tag{7}$$

$$= 21 \times 0,5$$

$$= 10.5$$

Hasil tuning PID dengan menggunakan metode Osilasi Ziegler – Nichols pada alat ini diperoleh nilai Kp = 21, Ki = 10.5, Kd = 10.5

Tabel 4 Hasil Perhitungan Tuning P,PI,PD,PID Ziegler-Nichols

Tipe Kontrol	Kp	Ki	Kd
P	17.5	~	0
PI	15.75	3.34	0
PD	28	~	0.5
PID	21	10.5	10.5

IV. PEMBAHASAN

1. LCD

Pengujian rangkaian ini sebatas pengeluaran data dari arduino uno untuk ditampilkan di display LCD 16x2. Sebelumnya program ditulis dengan bahasa C menggunakan software arduino.



Gambar 15 Pengujian LCD

2. Sensor Jarak Infrared Sharp

Pengujian sensor Jarak ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor dengan penggaris. Pengujian dilakukan berdasarkan jarak minimum dan maksimum yang dapat ditempuh sensor.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Jarak Infrared Sharp GP2Y0A02

No	Sensor jarak	Penggaris	Error (%)
1	27 cm	27 cm	0
2	30 cm	30 cm	0
3	37 cm	37 cm	0
4	46 cm	46 cm	0
5	55 cm	55 cm	0
6	64 cm	65 cm	1,5
7	70 cm	71 cm	1,4
8	80 cm	82 cm	2,4
9	90 cm	92 cm	2,1
10	100 cm	102 cm	1,9
Rata-rata			0,93

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor jarak Sharp memiliki error rata – rata 0,93%, akan tetapi error

masih dianggap kecil sehingga sensor jarak Sharp masih dapat digunakan sebagai sensor jarak.

3. Driver Motor DC

Pengujian driver motor DC terhadap masukan PWM dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan keluaran driver pada pengukuran langsung menggunakan multimeter dan perhitungan teori.

Tabel 6. Hasil pengujian driver motor DC terhadap PWM

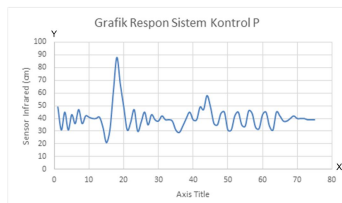
Duty Cycle	V. Teori	V. Pengukuran (Multimeter)	Error (%)
25%	4,75 v	5,1 v	7,3
50%	9,5 v	9,71 v	0,21
75%	14,25 v	15,4 v	8,07
80%	15,2 v	15,71 v	3,3
100%	19 v	19 v	0
Rata-rata			3,77 %

Hasil pengujian menunjukkan bahwa driver motor bekerja dengan baik, walaupun masih menunjukkan adanya error yang kecil.

4. Respon Sistem Pengaturan Troli

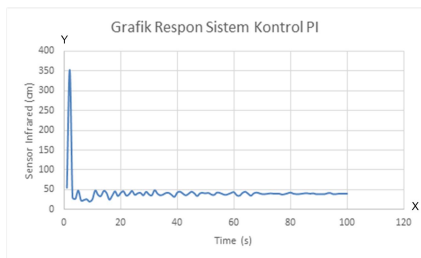
Pengujian sistem kontrol ini dilakukan untuk menganalisa apakah kontrol yang diberikan sudah sesuai dengan tujuan dilakukannya penelitian ini yakni untuk jarak Troli dengan pengguna agar sesuai dengan *set point* =40cm. Untuk melakukan pengujian respon sistem digunakan nilai kontrol yang telah diperoleh dari Tabel 4.

a. Ziegler-Nichols



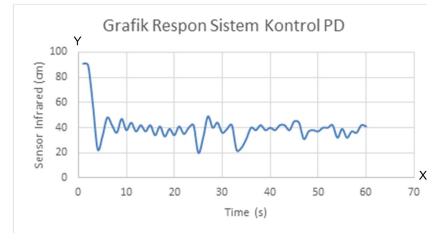
Gambar 16 Pengujian Respon Sistem $K_p=17.5$, $K_i=0$, $K_d=0$

Dari grafik gambar 12 tersebut dapat dianalisa bahwa respon sistem untuk mencapai *set point* masih belum stabil. Sistem masih berosilasi dikarenakan nilai K_p yang terlalu besar. Dengan demikian maka perlu adanya pengujian respon sistem menggunakan kontrol proporsional-integral seperti Gambar 13 di bawah ini.



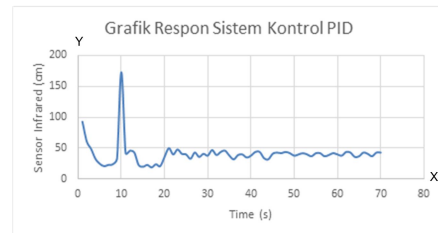
Gambar 17 Pengujian Respon Sistem $K_p=15,75$, $K_i=3,34$, $K_d=0$

Dari grafik gambar 16 tersebut dapat dianalisa bahwa terjadi Overshoot yang sangat tinggi yaitu 782.5 %, T_s (Settling Time)= 33s. Sistem sedikit berosilasi dan membutuhkan waktu yang lama untuk sistem bisa stabil sampai *time* = 83.39s. Dengan demikian maka perlu adanya pengujian respon sistem menggunakan kontrol proporsional-derivative seperti Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 18 Pengujian Respon Sistem $K_p=28$, $K_i=0$, $K_d=0.5$

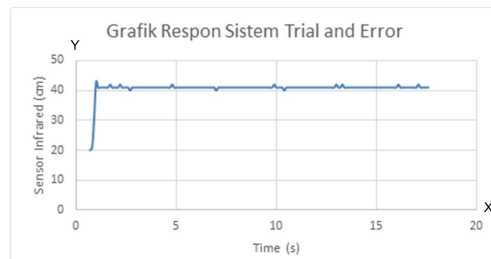
Dari grafik gambar 14 tersebut dapat dianalisa bahwa nilai *rise time* 2s lebih lama bila dibandingkan dengan kontrol PI, Overshoot masih tinggi yaitu 125% dan system masih terlihat berosilasi. Hal ini dikarenakan nilai K_p yang terlalu besar sedangkan nilai K_d yang terlalu kecil. Dengan demikian, maka perlu adanya pengujian respon sistem menggunakan kontrol proporsional-integral-derivative seperti Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 19 Pengujian Respon Sistem $K_p=21$, $K_i=10.5$, $K_d=10.5$

Dari grafik tersebut dapat dianalisa bahwa *rise time* hampir sama dengan respon sistem saat menggunakan kontrol PI. Sistem masih berosilasi, sehingga menyebabkan penambahan *error steady state*.

b. Trial and Error



Gambar 20 Pengujian respon sistem $K_p=6.00$, $K_i=0.1$, $K_d=0.05$

Dari grafik gambar 19 tersebut dapat dianalisa bahwa respon sistem menunjukkan hasil yang stabil dan cukup

baik, Nilai Tr (Rise Time)= 1.1s, Overshoot = 6.9%, Td (Delay Time)= 0.9s, Tp(Peak Time)= 1s, Ts (Settling Time)= 1.3s dan ess (error steady state)= 1cm. Error steady state terjadi dikarenakan nilai Ki yang kurang, namun masih dalam kategori baik. Jadi, kontrol diatas masih bisa digunakan pada sistem troli dalam pengaturan jarak.

Dari kedua Metode diatas, Berdasarkan pengujian dan analisa respon sistem yang sudah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk pengaturan jarak agar sesuai dengan *set point* menggunakan sensor *Infrared Sharp* adalah dengan menggunakan metode Trial and Error dengan nilai $K_p=6.00$, $K_i=0.1$ dan $K_d=0.05$. Hasil perhitungan tuning dengan metode Ziegler Nichols masih belum menunjukkan hasil yang baik. Hal ini bisa dikarenakan pembacaan sensor yang sangat sensitif, berat beban troli dan juga pengaruh dari mekanik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendeteksian jarak Troli dengan pengguna dapat dilakukan dengan menggunakan sensor Sharp GP2Y0A02, namun pendeteksian tidak bisa terlalu jauh, karena error semakin besar. Maka, jarak minimal dan maksimal yang dapat dideteksi dengan baik oleh sensor Sharp GP2Y0A02 adalah 20 cm – 100 cm.
2. Dalam menentukan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d dengan menggunakan metode Ziegler Nichols-osilasi, didapatkan hasil masukan nilai seperti berikut:

Tipe kontrol P: $K_p=1.75$, $K_i=0$, $K_d=0$;

Tipe kontrol PI: $K_p=15.75$, $K_i=3.34$, $K_d=0$;

Tipe kontrol PD: $K_p=28$, $K_i=0$, $K_d=0.5$;

Tipe kontrol PID: $K_p=21$, $K_i=10.5$, $K_d=10.5$;

Hasil menunjukkan sistem masih belum stabil, maka peneliti mencoba menggunakan metode *Trial and Error*, sehingga didapatkan nilai parameter PID $K_p=6.00$, $K_i=0.1$, $K_d=0.05$. Dari hasil ini, didapatkan nilai Delay Time (Td) = 0.9s, Rise Time (Tr) = 1.1s, Peak Time (Tp) = 1s, Settling Time(Ts) = 1.3s, Overshoot=6.9%, ess= 1 Cm dengan respon sistem yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan.

REFERENSI

- [1] Adhimantoro, Singgih. 2011. “*Desain Robot Pengikut Manusia*”. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Bina Nusantara
- [2] Agustine, Lanny.dkk. 2014. “Robot Otomatis Pengikut Manusia Berbasis Mikrokontroler AVR”.Jurnal. Jurusan Teknik Elektro Universitas Katolik Widyamandala. Surabaya
- [3] Setiawan, Bagus Ilyas. 2013. “*Perancangan Robot Auto Line Follower yang Menerapkan Metode Osilasi Ziegler-Nichols Untuk Tuning Parameter PID pada Kontes Robot Indonesia*”. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Vol. 1 No. 1
- [4] Wijaya, Eka Candra, dkk. 2011. “*Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Arduino Uno pada Pengendalian kecepatan motor*”. Jurnal. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Diponegoro
- [5] Wasito.2015.”*Vandemekum Elektronika*”.Jakarta: Gramedia pustaka utama.
- [6] Data Sheet, All.2005. GP2Y0A02. <http://sharp-world.com/products/deviceSpecifications>. Tanggal akses 20 Agustus 2016.
- [7] Wibawanti, Hari.2013.”*Elektronka Dasar Pengenalan Praktis*”.Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [8] Taufiq Dwi Septian Suyadhi. 2006. *Build Your Own Robot Line Follower*. Yogyakarta