

APLIKASI KONTROLER PID DALAM PENGENDALIAN POSISI STAMPING ROD BERBASIS PNEUMATIC MENGGUNAKAN ARDUINO UNO

Dimas Budi Prasetyo, Pembimbing 1: M. Aziz Muslim, Pembimbing 2: Purwanto.

Abstrak—Pada saat ini perkembangan dunia teknologi sangat pesat, terutama dalam bidang industri. Dalam dunia industri, pemberian stamp kadaluarsa pada kemasan menjadi hal wajib dilakukan oleh produsen. Dengan semakin tingginya permintaan, dibutuhkan sebuah sistem *pneumatic* untuk stamping rod yang bisa digunakan pada berbagai macam produk dengan ukuran berbeda secara otomatis.

Salah satu solusi dari hal tersebut yaitu menggunakan sistem *pneumatic* yang dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan metode kontrol PID. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah memiliki respons yang halus dan cepat. Pada skripsi ini digunakan metode *hand tuning*. Dalam pembuatannya digunakan sistem *pneumatic*, Arduino Uno dan sensor PING)).

Dari hasil pengujian terhadap aplikasi kontroler PID dengan menggunakan metode *hand tuning* ini didapat $K_p = 2$, $K_i = 0.1$, dan $K_d = 0$ yang menunjukkan bahwa respons sistem untuk pengendalian posisi stamping rod menghasilkan t_d (time delay) sebesar 1.41 detik, t_s (settling time) sebesar 2.33 detik, M_p (maximum overshoot) sebesar 0% dan E_{ss} (error steady state) sebesar 3%. Hal ini menunjukkan bahwa blok kontroler PID berbasis Arduino Uno dapat mengendalikan posisi silinder dengan baik.

Kata kunci : Sensor PING)), Arduino Uno, stamping rod, PID, *pneumatic*.

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi otomatis telah berkembang pesat. Dalam dunia industri, hampir semua perusahaan menerapkan otomatisasi pada alat-alatnya untuk menunjang proses produksi yang cepat, efisien, dan tidak membutuhkan banyak tenaga kerja. Berkat kemajuan teknologi, kini udara juga dapat dimanfaatkan berbagai proses produksi.

Pneumatic (Bahasa Yunani : *pneumaticos*) berasal dari kata dasar “pneu” yang berarti udara tekan dan “matic” yang berarti ilmu atau hal-hal yang berhubungan dengan udara bertekanan. Sistem *pneumatic* adalah teknologi yang memanfaatkan udara terkompresi untuk menggerakkan aktuator maupun sebagai pengganti sinyal kontrol. Mengenakan udara sebagai medianya, sistem *pneumatic* sederhana terdiri dari kompresor, valve, dan tubing.

Tekanan udara merupakan tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu. Satuan tekanan udara adalah bar. 1 bar = 100 kPa = 14.5038 psi = 1019.71621298 g/cm². Udara tekan atau udara terkompresi banyak digunakan pada

sistem *pneumatic* di industri dikarenakan mampu bekerja dalam waktu yang lama. Udara sebagai fluida kerja pada sistem *pneumatic* memiliki karakteristik khusus, antara lain : jumlah tak terbatas, mencari tekanan yang lebih rendah, dapat dimampatkan, memberi tekanan yang besarnya sama ke segala arah, mempunyai berat dan tidak mempunyai bentuk. Sistem *pneumatic* memiliki berbagai keunggulan, yaitu : udara mudah diperoleh, udara bertekanan mudah dipindahkan melalui sistem perpipaan, udara bertekanan tidak banyak dipengaruhi temperatur, udara bertekanan bersih dan tidak dapat terbakar, dan dapat menghasilkan gerakan yang cepat.

Pada sebagian industri, industri makanan misalnya, tanggal produksi dan tanggal kadaluarsa wajib dicantumkan pada kemasan produk. Pemberian cap tanggal atau stamping akan sangat merepotkan apabila dilakukan secara manual, oleh karena itu umumnya digunakan stamping rod. Stamping rod yang posisinya dapat dikontrol selain memudahkan proses stamping dari sisi biaya juga lebih murah dibandingkan menggunakan sistem stamping rod konvensional, karena ukuran kemasan yang berbeda hanya dibutuhkan satu stamping rod.

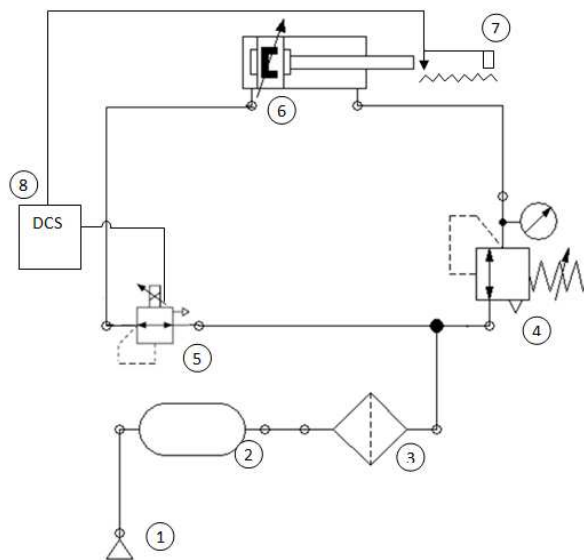
Pada skripsi ini akan dibuat suatu miniatur pengendalian tekanan udara dengan cara mengendalikan besar bukaan valve. Sistem kontrol yang digunakan pada laporan ini adalah *Proportional Integral Differential* (PID) berbasis Arduino Uno. PID adalah kontroler yang merupakan gabungan dari kontroler proporsional, kontroler integral dan kontroler differensial. Keuntungan dari kontroler PID adalah merupakan sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil sebuah keputusan. Diharapkan dengan menggunakan kontroler PID, tekanan udara bisa dikendalikan.

II. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan rangkaian *pneumatic* dan perancangan rangkaian elektrik. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program pada Arduino Uno.

A. Rangkaian Perangkat *Pneumatic*

Dalam penelitian ini, sistem pneumatik sangat penting untuk menjalankan sistem secara keseluruhan. Penyusunan rangkaian mengacu pada skema pada Gambar 1. Komponen pneumatik yang digunakan antara lain terdiri dari kompresor, *buffer accumulator*, *air filter and regulator*, *electro-pneumatic regulator*, dan silinder *double acting*. [1]



Gambar 1 Skema Rancangan Sistem Keseluruhan

Keterangan nomor :

1. Kompresor
2. Buffer accumulator
3. Air filter
4. Electro-pneumatic regulator
5. Air pressure regulator
6. Silinder double acting
7. Sensor PING))
8. Arduino Uno

B. Kompresor

Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida, dalam hal ini udara atau gas. Tujuan meningkatkan tekanan agar dapat untuk mengalirkan gaya dalam suatu sistem proses.

Penelitian ini menggunakan kompresor bertipe *rotary vane* dari hydrovane seperti yang tampak pada Gambar 2 dengan *output* tekanan sebesar 7,8 bar.



Gambar 2 Kompresor Hydrovane Tipe hv01

C. Electro-pneumatic Regulator

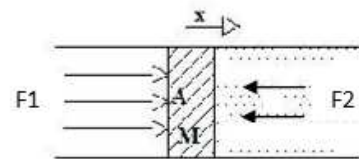
Sesuai namanya, *electro-pneumatic regulator* digunakan untuk mengubah sinyal keluaran dari V/I converter yang berupa arus 4-20mA menjadi tekanan. *Electro-pneumatic regulator* yang digunakan ITV3051-013BL dari SMC Pneumatic. Perangkat ini mengubah sinyal arus 4-20mA menjadi tekanan 0-9 bar. Namun dalam penelitian ini ITV3051-013BL di-setting sedemikian rupa sehingga *range* keluarannya menjadi 1,3-3 bar.

D. Air Pressure Regulator

Air pressure regulator adalah alat yang digunakan untuk mengatur tekanan udara. Pengaturannya dilakukan secara manual dengan cara memutar tuas. Udara bertekanan yang masuk maksimal sebesar 10 bar dan *range* pengaturan udaranya berkisar 0,07 - 3,5 bar.

E. Silinder Pneumatic

Silinder *pneumatic* adalah silinder yang bergerak maju ataupun mundur sesuai dengan arah masuknya udara bertekanan. Silinder *pneumatic* yang digunakan bertipe *double acting*, memiliki panjang *stroke* 30, dan diameter *bore* 25 mm. Tekanan maksimal yang dapat diberikan sebesar 10 bar.



Gambar 3 Analogi Silinder Pneumatic.[2]

Tekanan (P) adalah suatu gaya yang bekerja merata pada permukaan bidang, dirumuskan dengan :

$$P = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

sehingga

$$F = P \cdot A \dots \dots \dots (2)$$

Analogi pada Gambar 3 sesuai dengan hukum kedua Newton, yaitu :

$$\sum F = m \cdot a \dots \dots \dots (3)$$

atau

$$\sum F = m \cdot \ddot{x} \dots \dots \dots (4)$$

Dari persamaan (4) didapat :

$$P \cdot A - F2 \cdot C\dot{x} = m \cdot \ddot{x} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan transformasi Laplace diubah menjadi :

$$P(s)A - F2sX(s) = Ms^2X(s) \dots \dots \dots (6)$$

atau

$$P(s)A = X(s)(Ms^2 + F2s) \dots \dots \dots (7)$$

Sehingga didapatkan fungsi alih :

$$\frac{X(s)}{P(s)} = \frac{A}{Ms^2 + F2s} \dots \dots \dots (8)$$

atau

$$X(s) = \frac{A}{Ms^2 + F2s} P(s) \dots \dots \dots (9)$$

dimana :

A = luas penampang piston

M = massa stroke

F2 = tekanan udara dari port 2

P = tekanan pada penampang piston

X = posisi piston

Diameter piston = 25. 10⁻³m.[3]

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 \dots \dots \dots (10)$$

jadi

$$A = \frac{1}{4}\pi (25 \cdot 10^{-3})^2 = 4,90625 \cdot 10^{-4} m^2 \dots \dots \dots (11)$$

massa stroke = M = 36. 10⁻³kg

F2 = 2,5 bar = 40 psi

nilai di atas dimasukkan dalam persamaan sehingga didapat:

$$X(s) = \frac{4,90625 \cdot 10^{-4}}{36 \cdot 10^{-3} s^2 + 40s} P(s) \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{atau}$$

$$X(s) = \frac{1}{73,38s^2 + 8,1529 \cdot 10^4 s} P(s) \dots \dots \dots (13)$$

F. Sensor Ultrasonik PING)))

Sensor PING))) yang digunakan sebagai sensor jarak pada perancangan alat memiliki 3 pin keluaran yaitu SIG untuk data, pin 5V, dan pin GND seperti tampak pada gambar 4.



Gambar 4 Sensor Ultrasonik PING)))

G. V/I Converter

Output Arduino Uno yang berupa tegangan, tidak akan bisa langsung digunakan sebagai penggerak aktuator, dalam hal ini adalah *electro-pneumatic regulator*. Jadi harus menggunakan V/I converter yang digunakan untuk mengkonversi tegangan output Arduino Uno ke sinyal arus 4-20mA.

Converter yang digunakan adalah IC keluaran SHENZHEN SUNYUAN TECHNOLOGY CO., dengan kode seri ISO-U1-P3-O1 seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 IC V/I Converter

IC ini mampu mengubah sinyal tegangan 0-5V menjadi sinyal arus 4-20mA. Sebagai sumber dayanya dibutuhkan tegangan sebesar 5V.

H. Digital Analog Converter (DAC) PCF 8591

Penggunaan digital analog converter (DAC) pada perancangan ini adalah untuk mengatur besar kecilnya tegangan pada Arduino Uno yang mana kemudian tegangan itu akan dikonversi menjadi arus untuk menggerakkan aktuator.

I. Liquid Crystal Display (LCD)

Penggunaan LCD dalam perancangan ini adalah untuk menampilkan seberapa besar *error* sistem dan menunjukkan waktu mulai port Arduino Uno ditancapkan ke laptop.

J. Perancangan Kontroler PID

Kontroler PID dapat di *tuning* dalam beberapa cara, antara lain Ziegler-Nichols *tuning*, *loop tuning*, metode analitis, optimasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning*. Pada perancangan kontroler PID sistem pengendalian posisi *stamping rod* ini, menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter Kp, Ki, dan Kd.

Proses pencarian parameter PID ini dilakukan dengan cara mengatur nilai Kp hingga didapatkan respon sistem

yang mendekati *setpoint* 10cm. Hasil *tuning* nilai Kp ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Tuning Nilai Kp

Kp	Offset (%)
2	10
3	10
4	30

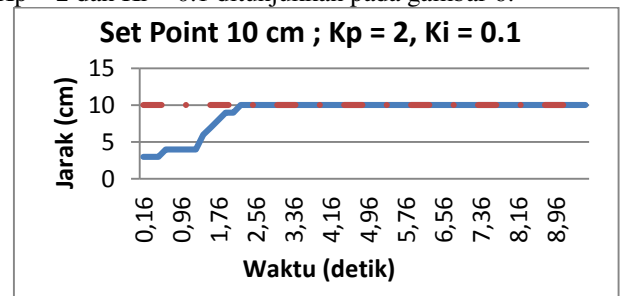
Dari hasil perancangan tersebut, didapatkan nilai Kp = 2 yang memiliki *offset* lebih baik daripada yang lain. Alasan pemilihan Kp = 2 dibandingkan Kp = 3 meskipun sama-sama memiliki *offset* yang sama sebesar 10% adalah karena dengan nilai Kp = 2, nilai *offset* tersebut berada di bawah *setpoint* sehingga bisa ditambahkan nilai Ki dan Kd untuk lebih menstabilkan sistem.

Tabel 2 Hasil Tuning Nilai Ki

Kp	Ki	Kd	Ts (detik)	Tr (detik)	Td (detik)
10.2	6.126	4.243	-	-	-
2	0.2	0	2.48	1.66	1.16
2	0.15	0	2.48	2	1.16
2	0.1	0	2.33	2	1.41

Dari hasil *tuning* parameter kontroler diperoleh nilai Kp = 2 dan Ki = 0.1. Dengan nilai Kp = 2 dan Ki = 0.1 didapatkan respon yang baik dan tidak terjadi *offset* pada saat *steady* dan sesuai dengan spesifikasi kontrol yang diharapkan, yaitu sistem tidak mengalami *overshoot*. Karena pada proses *stamping* tidak diperbolehkan mengalami *overshoot* yang mana nanti akan berakibat rusaknya barang yang akan di *stamp* oleh silinder.

Karena respon sudah baik, maka tidak memerlukan nilai Kd atau nilai Kd dianggap = 0. Hasil respon nilai Kp = 2 dan Ki = 0.1 ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Hasil Respon dengan Kp = 2 dan Ki = 0.1

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

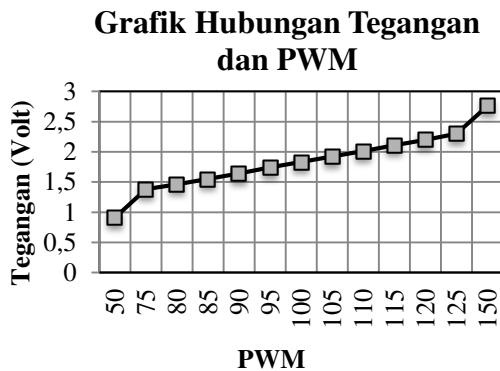
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan respon dari digital analog converter, V/I converter, *electro-pneumatic regulator*, sensor PING))), dan pengujian seluruh sistem.

A. Pengujian Digital Analog Converter (DAC)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya output tegangan yang dikeluarkan oleh Arduino Uno dengan mengatur PWM dengan range 0-255.

Tabel 3 Hasil Pengujian Digital Analog Converter

No	PWM	Tegangan (volt)
1	50	0.91
2	75	1.38
3	80	1.46
4	85	1.55
5	90	1.64
6	95	1.74
7	100	1.83
8	105	1.92
9	110	2.01
10	115	2.11
11	120	2.2
12	125	2.3
13	150	2.76



Gambar 7 Grafik Hubungan Tegangan dan PWM

Dari grafik di atas menunjukkan semakin besar *setting* angka PWM yang dilakukan, maka *output* tegangan yang dikeluarkan semakin besar.

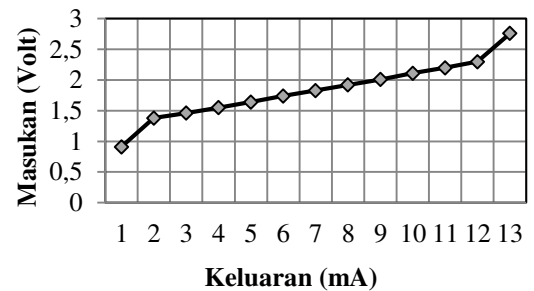
B. Pengujian V/I Converter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui arus *output* V/I converter apabila diberi tegangan *input* yang berbeda-beda.

Tabel 4 Hasil Pengujian V/I Converter

No	Masukan (Volt)	Keluaran (mA)
1	0.91	7
2	1.38	8.2
3	1.46	8.5
4	1.55	8.9
5	1.64	9.1
6	1.74	9.3
7	1.83	9.6
8	1.92	10
9	2.01	10.4
10	2.11	10.7
11	2.2	11
12	2.3	11.3
13	2.76	13

Grafik Hubungan Tegangan dan Arus



Gambar 8 Grafik Hubungan Tegangan dan Arus

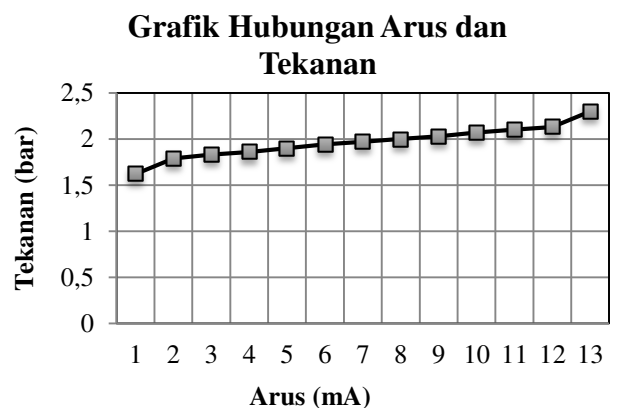
Dari grafik di atas menunjukkan semakin besar tegangan yang dikeluarkan, maka hasil konversi ke arus juga semakin besar.

C. Pengujian Electro-Pneumatic Regulator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar tekanan apabila *electro-pneumatic regulator* diberi arus masukan yang berbeda-beda.

Tabel 5 Hasil Pengujian Electro-Pneumatic Regulator

No	Masukan (mA)	Keluaran (bar)
1	7	1.62
2	8.2	1.79
3	8.5	1.83
4	8.9	1.86
5	9.1	1.9
6	9.3	1.94
7	9.6	1.97
8	10	2
9	10.4	2.03
10	10.7	2.07
11	11	2.1
12	11.3	2.13
13	13	2.3



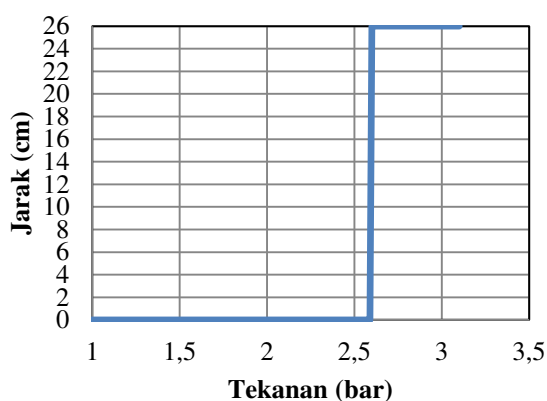
Gambar 9 Grafik Hubungan Arus dan Tekanan

Dari grafik di atas semakin besar arus yang dikeluarkan maka tekanan yang dihasilkan oleh *electro-pneumatic regulator* juga semakin besar.

Tabel 6 Hubungan antara Tekanan dengan Jarak Silinder *Pneumatic*

No	P (bar)	X (cm)
1	1	0
2	1,25	0
3	1,5	0
4	1,75	0
5	2	0
6	2,25	0
7	2,5	0
8	2,59	0
9	2,6	26
10	2,75	26
11	3	26
12	3,1	26

Grafik Hubungan Tekanan dan Jarak



Gambar 10 Grafik Hubungan Tekanan dan Jarak

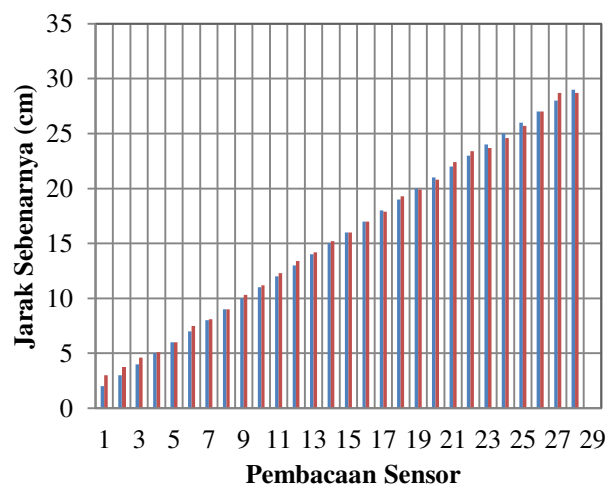
D. Pengujian Sensor PING)))

Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa *error* pembacaan jarak yang dilakukan oleh sensor PING))) dengan jarak sebenarnya dengan alat ukur, dengan ini menggunakan penggaris.

Tabel 7 Hubungan antara Pembacaan Sensor dengan Jarak Sebenarnya

No	Pembacaan Sensor (cm)	Jarak Sebenarnya (cm)
1	2	3
2	3	3.7
3	4	4.6
4	5	5.1
5	6	6
6	7	7.5
7	8	8.1
8	9	9
9	10	10.3
10	11	11.2
11	12	12.3

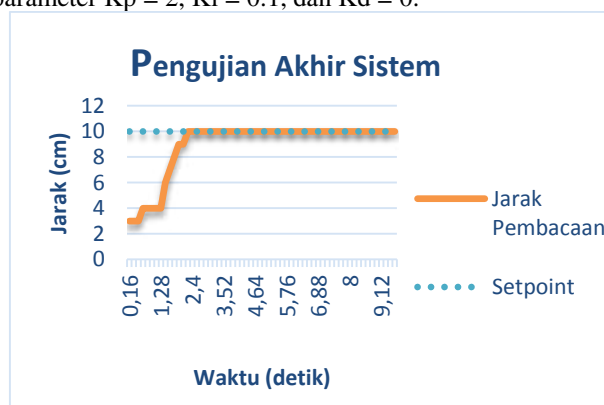
12	13	13.4
13	14	14.2
14	15	15.2
15	16	16
16	17	17
17	18	17.9
18	19	19.3
19	20	19.9
20	21	20.8
21	22	22.4
22	23	23.2
23	24	23.7
24	25	24.6
25	26	25.7
26	27	27
27	28	27.8
28	29	28.7



Gambar 11 Grafik Hubungan Pembacaan Sensor dan Jarak Sebenarnya

E. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem pengendalian posisi *stamping rod* berbasis *pneumatic* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diharapkan dengan memberi parameter $K_p = 2$, $K_i = 0.1$, dan $K_d = 0$.



Gambar 12 Grafik Respon Pengujian Sistem *Pneumatic*

Dari grafik di atas, diketahui bahwa hasil respon memiliki nilai % error sebagai berikut :

$$\% \text{ error} = \frac{|T_c - T_x|}{T_x} \times 100\%$$

Keterangan: T_c = Jarak Pembacaan Sensor

T_x = *Setpoint* Jarak

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan *error* sebesar 0%, namun jarak pembacaan sensor (PING)) yang berbeda dengan jarak sebenarnya, dibutuhkan penghitungan jarak pembacaan sensor (PING)) dan jarak sebenarnya untuk mengetahui seberapa *error* sistem secara keseluruhan. Nilai % *error* yang ada pada sistem adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \frac{|R_d - S_d|}{S_d} \times 100\% \\ &= \frac{|10.3 - 10|}{10} \times 100\% \\ &= 0.03 \times 100\% \\ &= 3\% \end{aligned}$$

Keterangan: R_d = Jarak Pembacaan Sebenarnya
 S_d = Jarak Pembacaan Sensor

Dari hasil penghitungan didapatkan *error* sebesar 3% dan sistem dapat dikatakan cukup baik karena *error* yang didapatkan masih dibawah toleransi *error* sebesar 5%.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian posisi *stamping rod* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode *hand tuning*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 2$, $K_i = 0.1$, dan $K_d = 0$ dan toleransi *error* sebesar 3%.
2. Hasil pengujian terhadap kontroler PID berbasis Arduino Uno menunjukkan bahwa respon sistem untuk pengaturan posisi *stamping rod* memiliki t_s (*time steady*) 2.33 detik. Jadi hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kontroler PID berbasis Arduino Uno menghasilkan respon yang cukup cepat dan *error* yang dihasilkan masih dalam batas toleransi *error* sebesar 5%.

B. Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan :

1. Disarankan menggunakan sensor jarak dengan tingkat kesalahan pembacaan atau *error* seminimal mungkin.

2. Disarankan untuk mencari parameter baru dengan cara melakukan peletakan posisi silinder dengan posisi vertikal, karena pada penelitian ini posisi silinder diletakkan secara horisontal.
3. Disarankan menggunakan pengontrolan selain metode selain PID.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Croser, F. Ebel. 2002. Pneumatics Basic Level. Festo Didactic GmbH.
- [2] Palinggi, Wido S. 2006. Kontrol posisi silinder linear pneumatik dengan katup on/off menggunakan kontroller Proportional Integral Derivative (PID). Universitas Kristen Petra.
- [3] Zen, Ahmad D. 2013. Pengendalian posisi *stamping rod* berbasis pneumatik menggunakan DCS Ventum VP. Universitas Brawijaya.
- [4] SMC Corporation. 2012. CM2 datasheet manual.pdf