

# METODE *ROOT LOCUS* UNTUK MENCARI PARAMETER PID DALAM PENGENDALIAN POSISI *STAMPING ROD* BERBASIS *PNEUMATIC* MENGGUNAKAN ARDUINO UNO

Ade Amruchly Yana, M. Azis Muslim, Erni Yudaningtyas  
Teknik Elektro Universitas Brawijaya  
Jalan M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia  
Email : [ade.a.yana@gmail.com](mailto:ade.a.yana@gmail.com)

**Abstrak**—Kemajuan teknologi saat ini semakin pesat, begitu pula tingkat konsumsi masyarakat. Dalam bidang industri, segalanya dituntut serba cepat untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satunya proses *stamping* dalam kemasan produk. Dibutuhkan keefektifan dan keakurasian dalam pelaksanaannya. Dengan semakin tingginya permintaan, dibutuhkan sebuah sistem *pneumatic* untuk *stamping rod* yang bisa digunakan dalam berbagai macam produk dengan ukuran berbeda secara otomatis. Salah satu solusi untuk memecahkannya ialah membuat sistem *pneumatic* yang dikendalikan secara otomatis oleh PID menggunakan kontroler arduino uno. Salah satu keunggulan PID adalah responnya bagus dan cepat apabila perhitungan yang digunakan tepat. Perhitungan parameter PID tersebut bisa dilakukan dengan banyak metode. Skripsi ini menggunakan metode *root locus* untuk menentukan parameter PID-nya sehingga hitungan bersifat akurat dan dapat meningkatkan efisiensi dan keefektifan sistem.

**Keywords**—Metode *Root Locus*, Pneumatik, Arduino Uno, Posisi Silinder.

## I. PENDAHULUAN

Saat ini dunia industri memiliki peran yang sangat besar di kehidupan sehari - hari. Kebutuhan masyarakat meningkat pesat dibanding sebelum terjadi revolusi industri. Hal ini mengakibatkan dunia industri dituntut untuk meningkatkan hasil produksi sebanyak-banyaknya dalam waktu sesingkat mungkin dengan nilai *error* yang sekecil mungkin. Dengan demikian perkembangan teknologi tinggi mutlak diperlukan guna mengimbangi kebutuhan tersebut. Dalam industri yang membutuhkan akurasi *output* pemakaian aksi kontrol sangat diperlukan. Hal sekecil apapun dalam proses industri harus diperhitungkan guna meminimalisir kemungkinan *error* yang terjadi sehingga proses produksi dapat berjalan dengan optimal.

Silinder banyak digunakan sebagai aktuator dalam pabrik baik skala kecil maupun besar. umumnya silinder tersebut bergerak menggunakan sistem pneumatik. keunggulan sistem ini adalah aktuator dapat bergerak dengan cepat tanpa menimbulkan panas. Salah satu aplikasinya yaitu dalam *stamping rod*. *Stamping rod* adalah peralatan mekanis yang bergerak secara translasi berfungsi untuk menandai/cap suatu produk.

Dalam satu pabrik produk yang dihasilkan tidak hanya satu ukuran saja. Hal ini dapat menimbulkan permasalahan mengingat silinder pneumatik yang digunakan dalam *stamping rod* umumnya hanya bisa bergerak maju secara penuh atau mundur secara penuh, tidak dapat berhenti di tengah - tengah. Sehingga untuk melakukan *stamping* dalam dua kemasan produk yang berbeda harus digunakan dua silinder dengan ukuran stroke yang berbeda. Dengan alasan tersebut maka dirancanglah pengendalian posisi silinder agar dapat mengoptimalkan penggunaan silinder. Prinsipnya adalah dengan cara menabrakkan udara bertekanan dalam kedua sisi silinder *double acting* sehingga piston dapat bergerak sesuai dengan *setpoint*.

PID adalah kontroler yang merupakan gabungan dari kontroler proposional, kontroler integral dan kontroler differensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan agar mendapat keluaran sistem yang stabil karena bisa saling menutupi kekurangan. Parameter yang digunakan untuk menentukan  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  akan menggunakan metode *root locus* kemudian dimasukkan ke dalam program arduino uno. Metode *root locus* merupakan cara perhitungan atau metode untuk mencari parameter PID. Metode ini seringkali diterapkan yakni dengan mencari fungsi alih suatu sistem langsung dari perhitungan spesifik dari aktuator dan sensornya sehingga hasilnya akurat dibandingkan dengan yang lain. Harapannya hasil yang diperoleh mendekati sempurna, se-efektif dan se-efisien mungkin.

## II. STUDI LITERATUR

### A. 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 hydrovanes seperti yang tampak dalam Gambar 1 dengan output tekanan sebesar 7,5 bar.



Gambar 1. Kompresor Hydrovanetipe hv01

**B. Electro Pneumatic Regulator**

Alat ini digunakan untuk mengatur tekanan udara berdasarkan arus listrik yang masuk bisa juga disebut sebagai I/P converter. Tipe yang digunakan adalah ITV3051-013BL dari SMC Pneumatic. Perangkat ini mengubah sinyal arus 4-20mA menjadi tekanan 0-9bar. Namun dalam penelitian ini ITV3051-013BL di-setting sedemikian rupa sehingga range keluarannya menjadi 0-7bar. *Electro pneumatic regulator* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. *Electro pneumatic regulator*[1]

**C. Air Pressure Regulator**

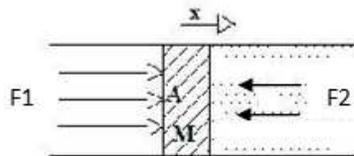
*Air Pressure Regulator* adalah alat yang digunakan untuk mengatur tekanan udara. Pengaturannya dilakukan secara manual dengan cara memutar tuas. Udara bertekanan yang masuk maksimal sebesar 10 bar dan range pengaturan udaranya berkisar 0,07 - 3,5 bar. Gambar 3 menampilkan *air pressure regulator* secara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



Gambar 3. *Air pressure regulator*. [2]

**D. Silinder Pneumatik**

Silinder Pneumatik adalah silinder yang bergerak maju ataupun mundur sesuai dengan arah masuknya udara bertekanan. Silinder pneumatik yang digunakan bertipe *double acting*, memiliki panjang *stroke* 30, dan diameter *bore* 25 mm. Tekanan maksimal yang dapat diberikan sebesar 10 bar. Analogi silinder pneumatik ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Analogi silinder pneumatik. [3]

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

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

sehingga

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

Analogi dalam Gambar 4 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 :

$$P \cdot A - F_2 \cdot C \dot{x} = m \cdot \ddot{x} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan transformasi Laplace diubah menjadi :

$$P(s)A - F_2sX(s) = Ms^2X(s) \dots\dots\dots (6)$$

atau

$$P(s)A = X(s)(Ms^2 + F_2s) \dots\dots\dots (7)$$

Sehingga didapatkan fungsi alih :

$$\frac{X(s)}{P(s)} = \frac{A}{Ms^2 + F_2s} \dots\dots\dots (8)$$

atau

$$X(s) = \frac{A}{Ms^2 + F_2s} P(s) \dots\dots\dots (9)$$

[4]

- dimana : A = luas penampang piston
- M = massa stroke
- F2 = tekanan udara dari port 2
- P = tekanan dalam penampang piston
- X = posisi piston

Diameter piston = 25. 10<sup>-3</sup>m = 2,5cm

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

jadi

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

$$A = 4,90625 cm^2$$

$$\text{massa stroke} = M = 36 \cdot 10^{-3} kg = 36 g$$

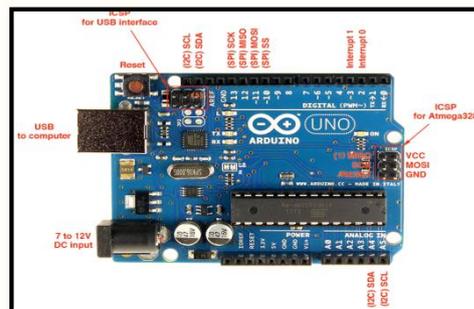
$$F_2 = 2,5 \text{ bar} = 40 \text{ psi}$$

nilai di atas dimasukkan dalam persamaan sehingga didapat:

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

**E. Arduino Uno**

Arduino uno adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan dalam ATmega328. Arduino uno mempunyai 14 pin digital input dan output, 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM. 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. Gambar 5 menampilkan arduino uno secara fisik.



Gambar 5. Arduino uno

**F. Sensor PING))**

Sensor jarak ultrasonik PING)) adalah sensor 40 KHz produksi parallax yang banyak digunakan untuk aplikasi atau kontes robot cerdas untuk mendeteksi jarak suatu objek.

Sensor PING)) mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik ( 40 KHz ) selama t = 200 μs kemudian mendeteksi pantulannya. Tampilan fisik sensor PING)) ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Sensor Ultrasonik PING))

**G. V/I Converter**

Disebabkan *electro pneumatic regulatory* yang digunakan hanya dapat menerima arus 4-20mA maka dibutuhkan *converter* untuk merubah keluaran tegangan hasil pengolahan kontroler menjadi sinyal arus 4-20mA.

*Converter* yang digunakan adalah IC keluaran SHENZHEN SUNYUAN TECHNOLOGY CO., dengan kode seri ISO-U1-P3-O1 seperti dalam Gambar 7.

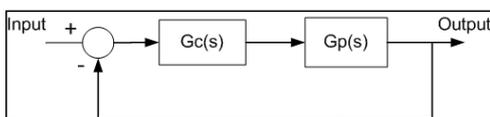


Gambar 7. IC V/I Converter

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

**H. Perancangan PID dan Root Locus**

Rancangan sistem kendali loop tertutup dengan metoderoot locus dimungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya beberapa letak pole sistem loop tertutup sehingga dapat diatur tanggapan transient dalam tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap [4]. Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode root locus dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Sistem Kendali

Berdasarkan sistem tersebut, persamaan karakteristik diberikan oleh:

$$1 + Gc(s)Gp(s) = 0 \dots\dots\dots(13)$$

Misalkan diinginkan lokus akar melaluis =  $s_1$ , maka  $Gc(s_1)Gp(s_1) = -1 \dots\dots\dots(14)$

$$Gc(s_1)|Gp(s_1)|e^{j\psi} = 1e^{j\pi} \dots\dots\dots(15)$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd.s \dots\dots\dots(16)$$

Sehingga dari persamaan diatas didapatkan

$$Gc(s_1) = \frac{1}{|Gp(s_1)|} e^{j(\pi-\psi)} \dots\dots\dots(17)$$

atau

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\pi-\psi)}}{|Gp(s_1)|} \dots\dots\dots(18)$$

Dengan

$$s_1 = |s_1|e^{j\beta} \dots\dots\dots(19)$$

Maka

$$Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki = \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} [\cos(\beta + \pi - \psi) + j \sin(\beta + \pi - \psi)] \dots\dots\dots(20)$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapat

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\beta + \pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\beta + \pi + \psi) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(21)$$

atau

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(22)$$

Dari persamaan diaatas dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan Kp, Ki, Kd, harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai dalam persamaan diatas dibuat sama dengan nol.

Kasus  $s_1$  adalah imajiner, persamaan diatas akan menghasilkan dua persamaan dalam Kp dan Kd serta besar Ki harus ditentukan terlebih dahulu.

**I. Konveyor**

Konveyor adalah suatu sistem mekanik yang mempunyai fungsi memindahkan barang dari satu tempat ke tempat yang lain. Konveyor banyak dipakai di industri untuk transportasi barang. Konveyor di sini beertipe *belt*, yang dikontrol secara on/off oleh arduino. Gambar 9 menampilkan *belt conveyor* secara fisik.



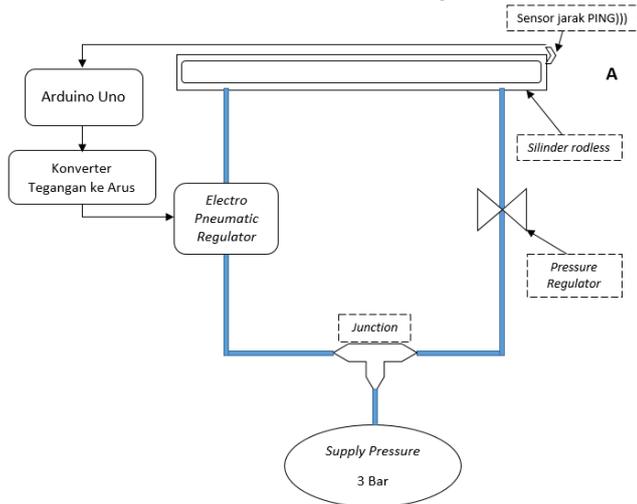
Gambar 9. Belt conveyor

### III. PERANCANGAN ALAT

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan rangkaian pneumatik dan perancangan rangkaian elektrik. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program dalam arduino uno.

#### A. Rangkaian Perangkat Pneumatik

Sistem pneumatik sangat penting untuk menjalankan sistem secara keseluruhan. Penyusunan rangkaian mengacu dalam skema dalam Gambar 10. Komponen pneumatik yang digunakan antara lain terdiri dari Kompresor, *buffer accumulator*, *air filter and regulator*, *I/P converter*, dan silinder *double acting*.



Gambar 10. Skema rancangan sistem keseluruhan

#### B. Rangkaian Elektrik

Dalam penelitian ini dibutuhkan *V/I converter* untuk mengubah hasil olahan kontroler berupa tegangan keluaran menjadi sinyal arus agar dapat diproses oleh *Electro pneumatic regulator*.

#### C. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini pemrograman keseluruhan sistem menggunakan bahasa C++ software Arduino ERW 1.0.5

### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi pengujian *I/P converter*, sensor jarak, dan *V/I converter* dengan tujuan memperoleh karakteristik dari tiap alat. Dengan begitu dapat dilakukan penyesuaian dalam sistem.

#### A. Pengujian Digital Analog Converter PCF 8591

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya output tegangan yang dikeluarkan oleh arduino uno dengan mengatur PWM dengan range 0-255. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Digital Analog Converter PCF 8591

No	PWM	Tegangan (volt)
1	50	0.91
2	75	1.38
3	80	1.46
4	85	1.55
5	90	1.64

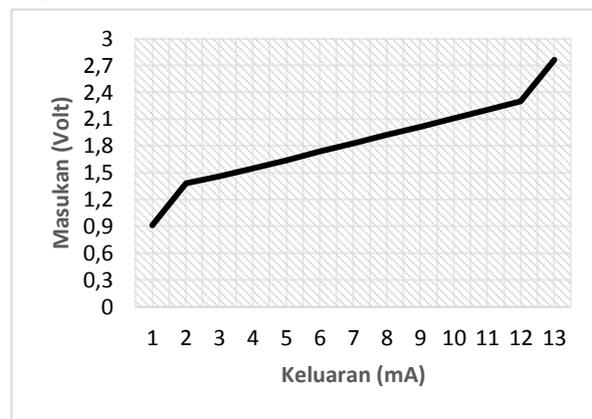
6	95	1.74
7	100	1.83
8	105	1.92
9	110	2.01
10	115	2.11
11	120	2.2
12	125	2.3
13	150	2.76

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa DAC mampu bekerja dengan baik.

#### B. Pengujian V/I Converter

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

Berdasarkan Gambar 11 di bawah ini, dapat disimpulkan bahwa *V/I converter* mampu bekerja dengan baik.

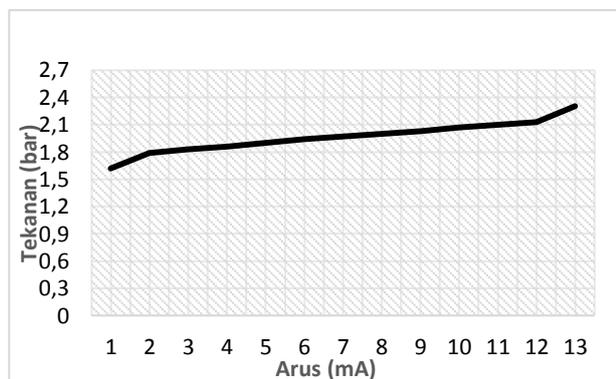


Gambar 11. Grafik Hubungan Tegangan dan Arus

#### C. Pengujian Electro Pneumatic Regulator

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

Berdasarkan Gambar 12 di bawah ini, dapat disimpulkan bahwa *electro pneumatic regulator* bekerja dengan baik.



Gambar 12. Grafik hubungan tekanan dan arus.

#### D. Pengujian Sensor Jarak PING)))

Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar error pembacaan jarak yang dilakukan oleh sensor PING))) dengan jarak sebenarnya dengan alat ukur,

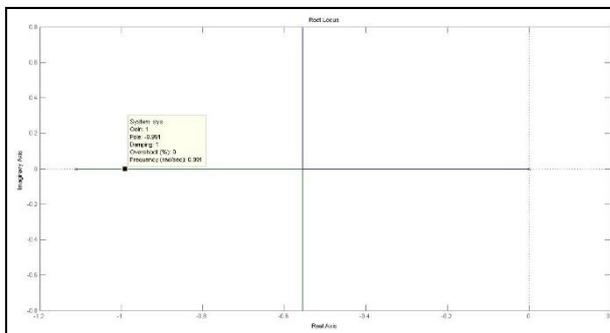
dalam hal ini menggunakan penggaris. Hasil pengujian sensor ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor PING)))

No	Pembacaan Sensor (cm)	Jarak Sebenarnya (cm)
1	2	3
2	3	3,5
3	4	4,3
4	5	5,1
5	6	6
6	7	7,3
7	8	8,1
8	9	9
9	10	10,2
10	11	11,2
11	12	12,3
12	13	13,2
13	14	14,2
14	15	15,1
15	16	16
16	17	17
17	18	17,9
18	19	19,2
19	20	19,9
20	21	20,9
21	22	22,1
22	23	23,1
23	24	23,9
24	25	24,9
25	26	25,8
26	27	27
27	28	27,8
28	29	29

**E. Penentuan Parameter PID**

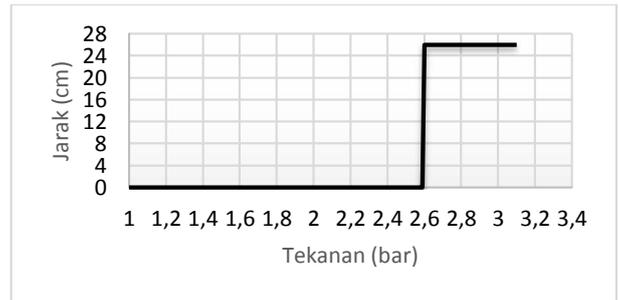
Untuk mendapatkan parameter PID yang diinginkan terlebih dahulu ditentukan pole yang diinginkan berdasarkan grafik *root locus* dari sistem. Dari grafik *root locus* dapat dilihat bahwa semua akar berada dalam sisi kiri bidang s, dapat disimpulkan bahwa sistem stabil dalam nilai manapun, dalam penelitian ini dipilih pole  $s = -0.991$ . *Root locus* fungsi alih sistem dan pemilihan pole dapat dilihat dalam Gambar 13.



Gambar 13. *Root Locus* Fungsi Alih sistem dan Pemilihan Pole

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter PID sesuai dengan kriteria yang diinginkan dalam hal ini menggunakan metode *root locus* yang diimplementasikan dalam program MATLAB. Sesuai dengan Persamaan 22. Grafik respon sistem tanpa kontroler dapat dilihat dalam Gambar 14, oleh karena

dibutuhkanlah kontroler PID untuk mengatur panjang silinder yang keluar.



Gambar 14. Grafik respon sistem tanpa kontroler

Dari Gambar 14 dapat diketahui bahwa respon sistem tanpa menggunakan kontroler berupa PID tidak sesuai dengan yang diinginkan. Dengan digunakannya parameter PID hasil tuning didapatkan respon yang lebih cepat dan sesuai tujuan penelitian.

5 jenis parameter PID hasil perhitungan *root locus* ditunjukkan dalam Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Parameter PID

No.	Kp	Ki	Kd	Pole 1	Pole 2	Pole 3
1	0.2002	0.1	0.1018	-0.991	-0.0670 + 0.0962i	-0.0670 - 0.0962i
2	2.3166	0.5	1.0182	-0.991	-0.1294 + 0.3475i	-0.1294 - 0.3475i
3	3.0256	1.5	1.5274	-0.991	-0.1641 + 0.4235i	-0.1641 - 0.4235i
4	5.0438	2.5	2.5456	-0.991	-0.2335 + 0.5378i	-0.2335 - 0.5378i
5	10.089	5	5.0912	-0.991	0.4070+0.7225i	-0.4070 - 0.7225i

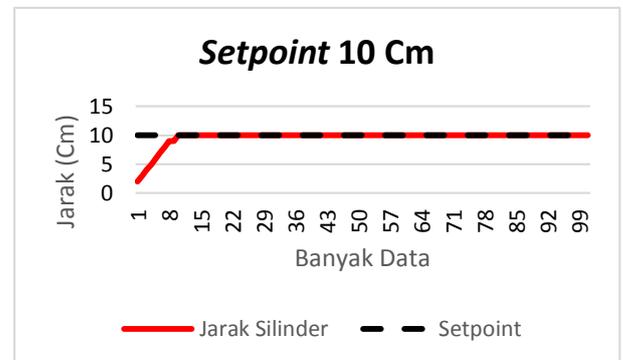
Dari kelima parameter tersebut, didapatkan respon terbaik dengan parameter :

$K_p=2.3166, K_i=0.5$  dan  $K_d=1.0182$ .

**F. Pengujian Sistem Keseluruhan**

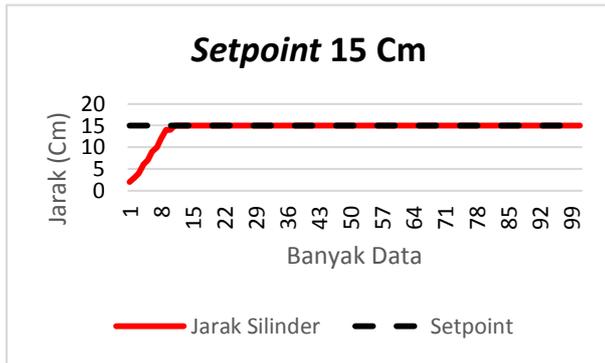
Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan perangkat lunak serta mengetahui respon keseluruhan sistem dengan PID. Implementasi nilai parameter PID yang telah dihitung yaitu  $K_p=2.3166, K_i=0.5$  dan  $K_d=1.0182$ . Pengujian ini dilakukan dengan 4 macam *setpoint* dengan tujuan mengetahui bahwa sistem ini bisa digunakan ketika mempunyai *setpoint* yang berbeda-beda.

Pengujian pertama *setpoint* 10cm, hasilnya bisa dilihat dalam Gambar 15.



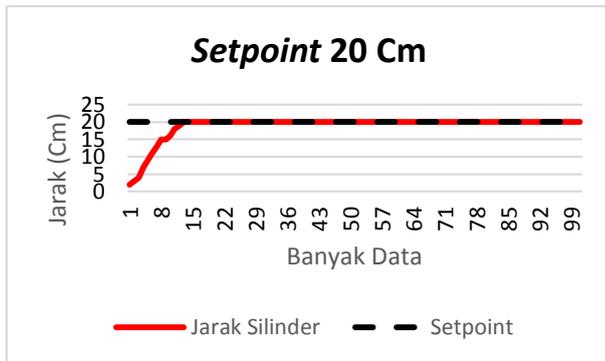
Gambar 15. Hasil respon dengan *setpoint* 10cm.

Pengujian kedua *setpoint* 15cm, hasilnya bisa dilihat dalam Gambar 16.



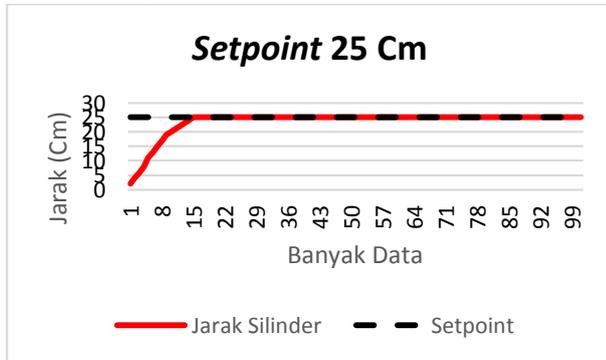
Gambar 16. Hasil respon dengan *setpoint* 15cm.

Pengujian ketiga *setpoint* 20cm, hasilnya bisa dilihat dalam Gambar 17.



Gambar 17. Hasil respon dengan *setpoint* 20cm.

Pengujian keempat *setpoint* 25cm, hasilnya bisa dilihat dalam Gambar 18.



Gambar 18. Hasil respon dengan *setpoint* 25cm.

Dari keempat pengujian keseluruhan sistem di atas, dapat dibuat tabel hasilnya dalam tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil pengujian

Pengujian	<i>Setpoint</i>	<i>Settling time</i> (ts)	<i>Error steady state</i> (ess)
1	10cm	1,6 detik	2%
2	15cm	1,7 detik	0,667%
3	20cm	1,7 detik	0,5%
4	25cm	2 detik	0,4%

Berdasarkan tabel di atas, *settling time* rata-rata dari sistem adalah sebesar 1,75 detik dan *error steady state* rata-rata sebesar 0,892%.

## V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Dari perancangan parameter PID menggunakan metode *root locus* dengan nilai *poles* = -0,991 didapatkan nilai  $K_p=2.3166$ ,  $K_i=0.5$  dan  $K_d=1.0182$ . Berdasarkan hasil pengujian dengan 4 macam *setpoint* yang berbeda-beda (10cm, 15cm, 20cm, dan 25cm) diperoleh *settling time* (ts) rata-rata sebesar 1,75 detik dan *error steady state* (ess) rata-rata sebesar 0,892%.

Hasil pengujian terhadap kontroler PID berbasis arduino uno menunjukkan bahwa hasil pencarian parameter PID menggunakan *root locus* dalam pengendalian posisi *stamping rod* berbasis *pneumatic* menggunakan arduino uno sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan dapat dilaksanakan dalam setiap ukuran silinder dengan respon yang cepat dan *error steady state* yang sangat kecil sebesar 0,892%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zen, Ahmad D. 2013. Pengendalian Posisi Stamping Rod Berbasis Pneumatic Menggunakan DCS Centum VP. Universitas Brawijaya.
- [2] Prasetyo, Dimas B. 2013. Aplikasi Kontroler Pid Dalam Pengendalian Posisi Stamping Rod Berbasis Pneumatic Menggunakan Arduino Uno. Universitas Brawijaya.
- [3] Palinggi, Wido S. 2006. Kontrol posisi silinder linear pneumatik dengan katup on/off menggunakan kontoller Proportional Integral Derivative (PID). Universitas Kristen Petra.
- [4] SMC Corporation. 2012. CM2 datasheet manual.pdf
- [5] P. Croser, F. Ebel. 2002. Pneumatics Basic Level. Festo Didactic GmbH.