

Analisis Kinerja Pengaturan Posisi Angular pada Sistem Servo Hidrolik

Albertus Rianto¹, Khairu Rezqi² dan Galuh Prihantoro³

¹Balai Teknologi Mesin Perkakas, Produksi dan Otomasi – BT MEPPPO

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

, Gedung Teknologi 2, Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan, Banten – 15314
Indonesia

albertus.rianto@bppt.go.id

Abstrak

Sistem penggerak hidrolik digunakan untuk melakukan pekerjaan dengan beban berat. Penggunaan sistem hidrolik memberikan kekuatan yang besar terutama dalam pekerjaan seperti mengangkat, menekan, memutar, dan membawa material. Permasalahan utama sistem hidrolik adalah faktor kepresisian. Didalam industri manufaktur, penggunaan sistem hidrolik dengan kepresisian tinggi dapat ditemukan pada peralatan produksi seperti mesin *metal flowforming*, mesin press, dan hidrolik *robot arm*.

Rancangan sistem pengaturan posisi pada gerakan berputar motor hidrolik dilakukan dengan sistem tertutup yang terdiri dari pengendali posisi, pengaturan kecepatan fluida, dan pengendali tekanan. Sistem *powerpack* dikondisikan oleh rangkaian kontrol elemen yang kompak. *Servo valve* dikendalikan oleh *servo controller* melalui *servo amplifier*. *Reduction gear* digunakan untuk pembebanan dan mengurangi kecepatan sudut. *Rotary Encoder* digunakan untuk melakukan validasi posisi angular sebagai data umpan balik ke *servo controller*.

Analisa kesalahan posisi dari sistem penggerak diperoleh melalui kinerja pengaturan posisi menggunakan *servo valve analog* dengan melihat faktor kesalahan yang disebabkan oleh kecepatan respon. Kesalahan posisi pada kondisi transient dan kondisi tunak terjadi dari akibat keterlambatan pada saat pencapaian kecepatan respon. Pengaturan posisi angular mampu mencapai ketelitian resolusi sensor sebesar $\pm 1,08$ arc.sec. ($\pm 0,003$ deg). Sedangkan nilai ketelitian akurasi yang dapat dilakukan sebesar $\pm 337,464$ arc.sec. ($\pm 0,09375$ deg). Nilai akurasi dapat dicapai dengan menerapkan pengaturan parameter *gain* secara optimal. Dengan melakukan sistem pengendali hidrolik yang akurat akan bermanfaat untuk melakukan kinerja proses produksi berkapasitas besar dan memperoleh hasil proses produksi yang presisi.

Kata kunci : *Servo valve* hidrolik, kepresisian posisi angular, parameter *gain*

Pendahuluan

Pada industri manufaktur terdapat banyak inovasi teknologi terkait kegiatan rancang bangun mesin produksi bertenaga hidrolik. Penggunaan sistem hidrolik memberikan kekuatan yang besar pada pekerjaan seperti mengangkat, menekan, memutar, dan membawa material. Permasalahan utama di dalam penggunaan tenaga hidrolik adalah faktor

kepresisian gerak. Pada aplikasi industri manufaktur dengan menggunakan sistem bertenaga hidrolik presisi tinggi dapat ditemukan pada mesin *metal flowforming*, mesin press, dan *hydraulic robot arm*.

Untuk melakukan gerakan berputar pada sistem hidrolik diperlukan aktuator berupa motor hidrolik. Motor hidrolik digerakan oleh aliran fluida yang dihasilkan oleh pompa hidrolik *powerpack*. Nilai torsi dan kecepatan yang dihasilkan motor hidrolik

dipengaruhi oleh jenis dan tipe kapasitas pompa sebagai fungsi dari tekanan kerja dan debit. Sistem kendali aliran debit menggunakan sistem *servo valve* untuk melakukan kerja pemosisian putar. Faktor *head loss* akan terjadi saat sistem bergerak dinamis dan mempengaruhi nilai keakurasian gerak putar.

Dalam menentukan sistem kontrol hidrolik pada *servo valve* perlu dilakukan perhitungan parameter spesifikasi statik seperti kapasitas, tekanan, jenis fluida dan parameter spesifikasi dinamik seperti parameter *gain*, *headloss*, kapasitas aliran dinamik, kecepatan katup, resolusi pemosisian katup, dan sensitifitas beban [1].

1.1 Parameter *Gain* dan *Offset* pada *Amplifier*

Parameter *Gain* adalah karakteristik fungsi turunan (*slope*) dari grafik sinyal masukan terhadap kapasitas fluida yang dihasilkan. Parameter *gain* tersebut mengalami perbedaan antara nilai spesifikasi pada hasil test uji laboratorium dengan kondisi real yang terjadi pada sistem yang akan dijalankan. Penyebab utama adalah *pressure drop* yang tidak konsisten saat melewati *valve*. Perbedaan jenis pompa *powerpack* dengan motor hidrolik yang digunakan juga sangat menentukan adanya *pressure drop* [1]. Proses *tuning gain* digunakan untuk melakukan proses linearisasi antara nilai input dan nilai output. Pada umumnya, cara melakukan proses *tuning* adalah dengan membandingkan kondisi saat diam atau koordinat titik (0,0) dengan *setpoint* yang ditentukan $(x,y)_{\text{setpoint}}$. Untuk menentukan nilai *offset* digunakan proses *tuning* pada kondisi diam, sedangkan untuk melakukan *tuning gain* dibutuhkan kondisi dimana *sinyal* input dan kapasitas aliran output linearitas. Metode tersebut sulit dilakukan mengingat kapaitas aliran fluida yang tidak stabil karena adanya beberapa faktor turbulensi, sensitifitas beban, *headloss*

pada sistem pipa dan kecepatan katup. Penggunaan pada kondisi *bipolar* atau kondisi dimana servo mampu membalikan arah putaran dapat dilakukan proses *tuning* dengan membandingkan kecepatan putaran aliran maju (CW) dan mundur (CCW) agar bernilai sama [2].

1.2 Kepresisian Gerak Angular

Nilai dari kepresisian gerak angular dapat ditentukan dengan menentukan *margin error* yang mana besaran simpangan yang terjadi dibandingkan dengan nilai *setpoint*. Besaran *margin error* posisi dihasilkan oleh kondisi dimana sistem servo terlambat dalam melakukan respon pada mekanisme gerak motor hidrolik. Kesalahan posisi pada kondisi transient dan kondisi tunak dari gerakan poros motor merupakan akibat dari keterlambatan pencapaian kecepatan [2].

1.3 Parameter *Gain* (Kpos, Ki, dan Kp) pada Servo Controller

Parameter *Gain* (Kpos, Ki, dan Kp) adalah serangkaian parameter pengendali dari sistem *servo controller*. Kpos adalah parameter pengaturan posisi umpan balik dari sistem pergerakan angular. Ki adalah parameter *setting* integral untuk mengatur kecepatan dari *gain* posisi. Kp adalah parameter dari *setting proportional gain* [3]. Perubahan nilai parameter *gain* sangat mempengaruhi nilai akurasi, kecepatan respon dari gerakan pemosisian. Nilai dari parameter tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi yang akan diatur dalam pembebanan kerja.

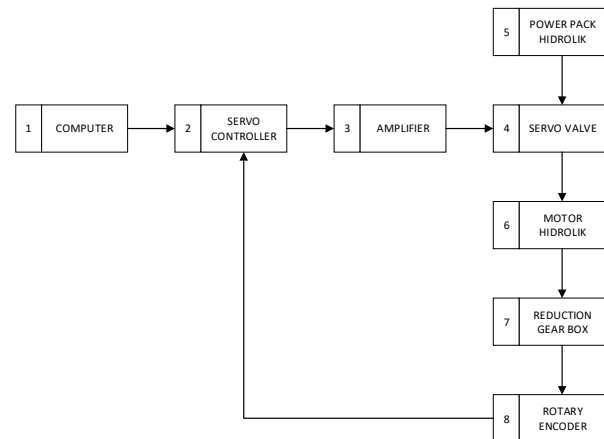
Dengan melakukan optimasi parameter *gain*, akan didapat gerakan pengendali hidrolik yang akurat. Gerakan akurat ini sangat bermanfaat untuk melakukan kinerja proses produksi berkapasitas besar dengan hasil proses produksi yang presisi.

Metodologi Penelitian

Pada eksperimen dilakukan pemodelan matematik sebagai fungsi alih dari sistem *servo hidrolik*, motor hidrolik serta sensor *rotary encoder*. Peralatan yang digunakan didalam pengambilan data dapat dilihat pada gambar 1 dengan menggunakan spesifikasi peralatan sebagai berikut :

1. Komputer (PC)
2. *Servo Controller*
Aerotech A3200 Nservo dengan *differential bipolar* ± 10 volt (*error* $< 1\%$)
3. *Amplifier*
Vicker Power *Amplifier* EHA – PAM 291-A-20 w/ ± 200 mA (*error* linearity $< 0,5\%$)
4. *Servo Valve*
Menggunakan *pararel coil*
5. *Powerpack* Hidrolik
Menggunakan pompa piston, Q_{maks} : 22 Liter/min, P_{maks} : 250 Bar.
6. Motor Hidrolik
Menggunakan penggerak piston, $P_{operasional} = 20 - 210$ bar, Torsi = 30 N.m (210 bar), $Q_{operasional} = 0 - 40$ liter/min, $Q_{maks} = 57$ liter/min, $\omega_{operasional} = 0$ s/d 3600 rpm, dengan kondisi $\omega = 1500$ rpm (17 bar)
7. *Reduction Gear Box*
Jenis transmisi roda gigi, *ratio* (i) roda gigi = 15,48
8. *Rotary Encoder*
Menggunakan jenis *Incremental Encoder* dengan 3600 pulse/putaran.

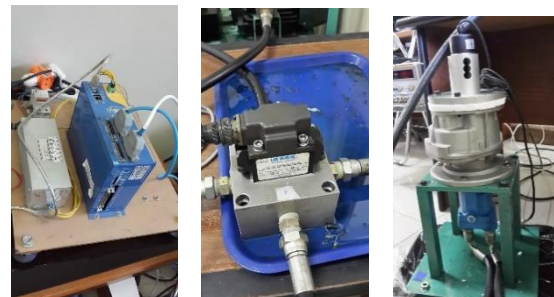
Rangkaian skema penyusunan peralatan eksperimen sistem hidrolik dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan pada Gambar 2 dapat dilihat rangkaian eksperimen dengan peralatan utama untuk pengambilan data.



Gambar 1. Diagram Skema Penyusunan Eksperimen



(a)



(b)

(c)

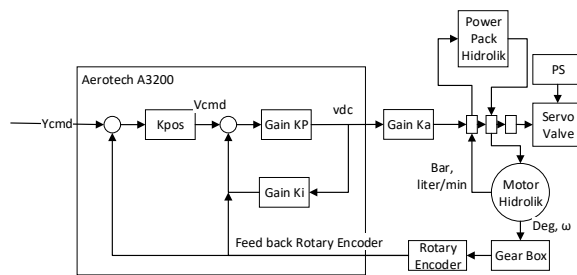
(d)

- a. Sistem rangkaian secara keseluruhan
- b. Rangkaian *Servo Controller*
- c. *Servo Valve*
- d. Motor hidrolik disambungkan ke *Reduction gear box* kemudian disambungkan pada *rotary encoder*

Gambar 2. Foto Penyusunan Rangkaian Peralatan Eksperimen

Skema numerik yang digunakan adalah sistem kalang tertutup (*closed loop*) dengan

rotary encoder untuk melakukan umpan balik.



Gambar 3. Sistem pada Servo Valve

$$e = r - f \quad (1)$$

e = nilai kesalahan (*error*)

r = *setpoint*

f = umpan balik

$$i = K_{PID} \cdot e \quad (2)$$

i = arus output *amplifier* (amp)

K_{PID} = *Gain* _{PID}

e = *error*

$$T \cdot (dz/dt) + z = K_s \cdot i \quad (3)$$

T = konstanta waktu (det)

z = posisi *valve* (%)

K_s =

i = arus output *amplifier* (amp)

= arus input servo (ma)

$$q = Q_0 \cdot z \quad (4)$$

q = debit motor hidrolik (liter/det)

Q_0 = debit pada pompa (liter/det)

z = posisi *valve* (%)

$$q = A \cdot v / (1.000) \quad (5)$$

q = debit motor hidrolik (liter/det)

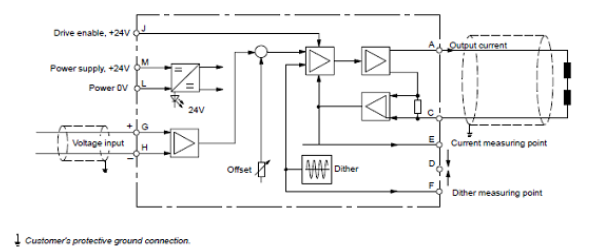
A = luas penampang pompa silinder (m^2)

v = kecepatan silinder (m/det)

$$\omega = d\theta / dt \quad (6)$$

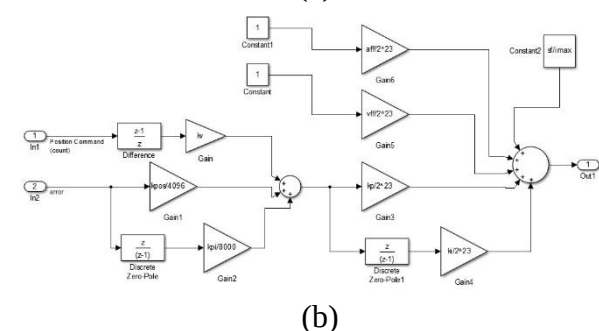
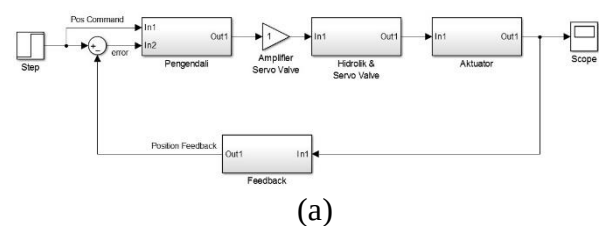
θ = posisi sudut (deg)

t = waktu (det)



Gambar 4. Diagram Blok pada Amplifier

Kontrol *amplifier* menggunakan sistem analog untuk mengatur arus (i) = ± 200 mA yang digunakan untuk memberikan sinyal membuka atau menutup servo valve (z). Proses kalibrasi dilakukan dengan konsep kalibrasi bipolar. Untuk melakukan kompensasi *Gain* dilakukan pengaturan kecepatan sudut yang sama antara arah putaran CW dengan CCW motor hidrolik.



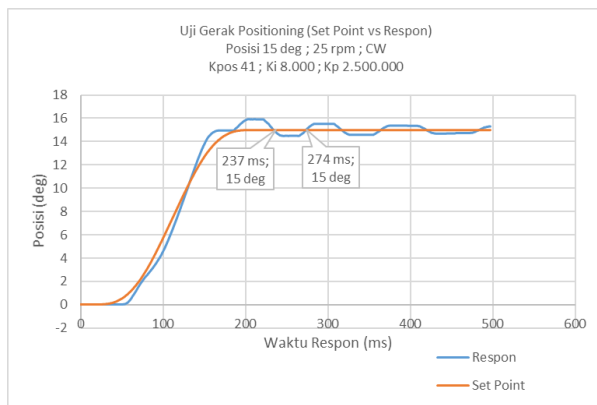
(a) Blok diagram sistem keseluruhan

(b) Blok diagram pengendali

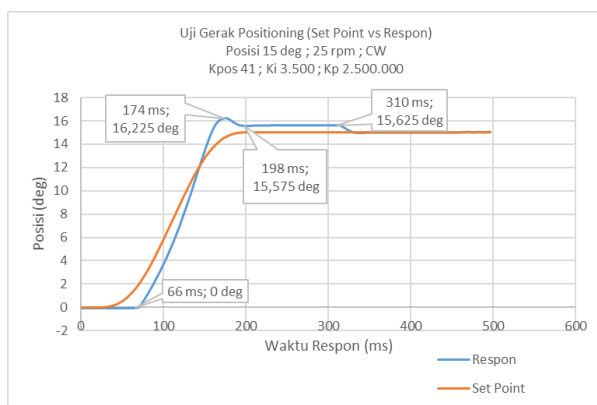
Gambar 5. Diagram Blok pada Aerotech A3200

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan parameter servo : $K_{pos} = 41$, $K_p = 2.500.000$, $K_i = 8000$. Kecepatan putar dilakukan pada 9000 deg/min (25 rpm). Kecepatan pengambilan data sebesar 1 sinyal/ms. Hasil *gain* faktor ini merupakan data yang diperoleh setelah proses *auto tuning* dilakukan pada *servo controller*. Dari nilai parameter *gain* yang didapat saat proses *auto tuning* dilakukan proses optimasi dengan menurunkan nilai *gain* K_i menjadi 3500. Nilai ini dilakukan untuk memperbaiki *margin error* yang masih terlalu besar. Hasil perbandingan sebelum dan sesudah proses optimasi dapat dilihat pada Gambar 6,7,8 dengan pemaparan nilai *setpoint* pada saat 15 deg. Sedangkan hasil untuk pengambilan *setpoint* lainnya dapat dilihat pada Gambar 9.



(a)

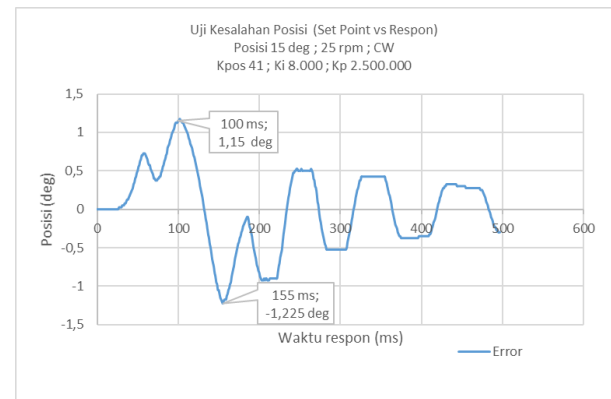


(b)

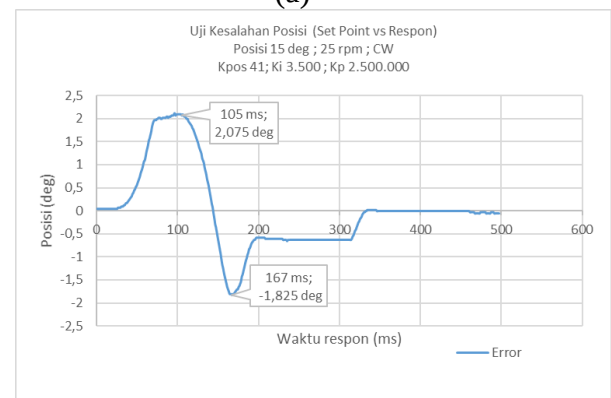
Gambar 6. Grafik Uji Pemosisian pada 15 deg (0 ms – 500 ms) sebelum

(a) dan setelah (b) dilakukan penyesuaian

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa dengan memberikan nilai $K_i = 3500$ memberikan time respon yang rendah atau menurunkan frekuensi gelombang menjadi ± 112 ms.



(a)

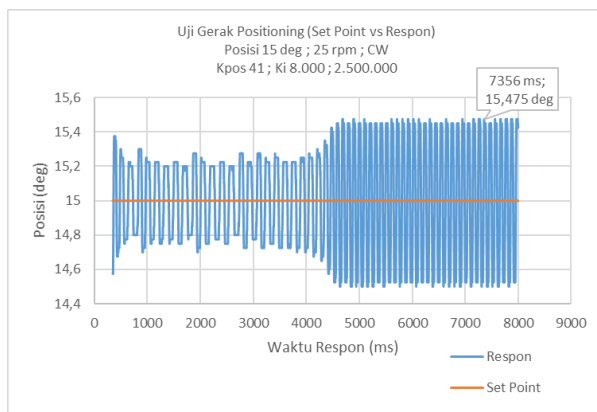


(b)

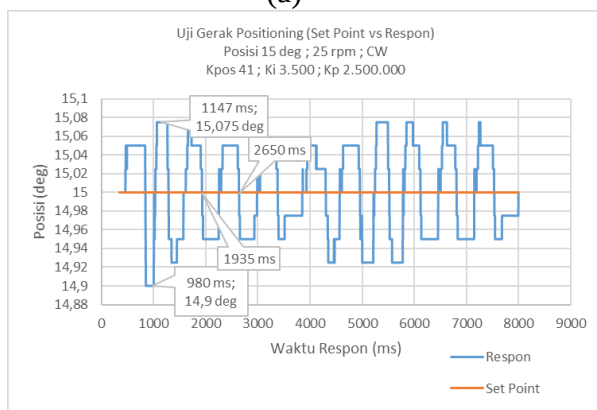
Gambar 7. Grafik Kesalahan Positioning pada 15 deg (0 ms – 500ms) sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan penyesuaian

Setelah disesuaikan nilai K_i nya, maka pada Gambar 7 dapat dilihat nilai kesalahan terbesar terjadi pada saat 105 ms dengan nilai kesalahan (+) 2,075 deg, dan pada saat 167 ms dengan nilai kesalahan (–) 1,825 deg. Nilai kesalahan tersebut menjadi terlihat sangat beraturan jika dibandingkan pada saat $K_i = 8000$. Kesalahan posisi tersebut terjadi karena keterlambatan respon yang disebabkan oleh faktor *gain*

(Kpos, Kp, Ki) pada saat *servo controller* melakukan proses umpan balik dari posisi *setpoint* yang telah ditentukan. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa kesalahan terbesar terjadi pada saat kondisi laju perubahan percepatan yang tinggi. Untuk respon pada saat posisi sudah mendekati *setpoint*, nilai kesalahan menjadi relatif lebih kecil. Seperti terlihat pada grafik kesalahan positioning pada Gambar 8.



(a)

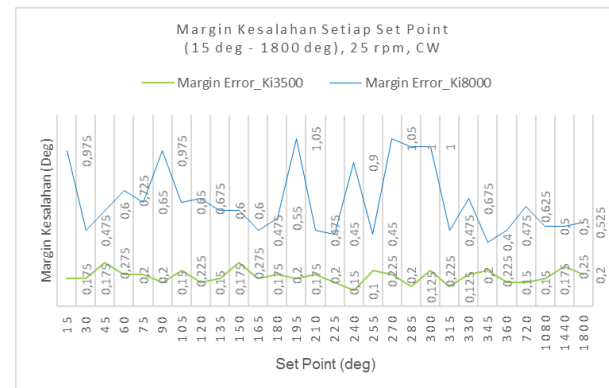


(b)

Gambar 8. Uji *Positioning* pada 15 deg (500 ms – 8000 ms) sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan penyesuaian

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada saat respon telah mendekati *setpoint* 15 deg maka pergerakannya menjadi lebih stabil. Hal ini terlihat sangat berbeda pada saat sebelum kondisi Ki disesuaikan. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa *responsibility* sistem pengaturan sebelum dikondisikan cenderung menjadi tidak

stabil dan *divergen*. Osilasi *positioning* terjadi karena *servo* melakukan kinerja umpan balik. Nilai *margin error* terbesar mencapai 0,175 deg yang diambil antara rentang waktu respon antara 980 - 1147 ms. Nilai *margin error* ini merupakan selisih antara simpangan *error* atas dengan simpangan *error* bawah.



Gambar 9. *Margin error* pada setiap *setpoint* (15 deg – 1800 deg) sebelum (garis atas) dan setelah (garis bawah) dilakukan penyesuaian

Pada Gambar 9 dapat dilihat nilai *margin error* untuk 28 kondisi *setpoint*. Metode pengambilan data ini dilakukan sama dengan pengambilan data *setpoint* 15 deg. Dari Gambar 9.b dapat dilihat bahwa *margin error* terbesar bernilai 0,275 deg yang terjadi pada *setpoint* 75 deg dan 165 deg. *Margin error* terkecil bernilai 0,1 deg yang terjadi *setpoint* 240 deg. Dari Gambar 9.b dapat dilihat bahwa nilai *margin error* ini jauh lebih baik jika dibandingkan dengan nilai *margin error* sebelum faktor *gain* disesuaikan seperti pada Gambar 9.a. Dari 18 *setpoint* setelah faktor *gain* disesuaikan diperoleh nilai rata-rata (*mean*) *margin error* sebesar 0,1875 deg atau 675 arc.sec.

Tabel 1. *Repeatability* untuk *Margin Error* pada *setpoint* 15 deg dan 360 deg.

No	Setpoint	Margin Error	Setpoint	Margin Error
	deg	deg	deg	deg
1	15	0,2	360	0,325
2	15	0,2	360	0,275
3	15	0,2	360	0,3
4	15	0,2	360	0,15
5	15	0,2	360	0,3
6	15	0,225	360	0,3
7	15	0,2	360	0,325
Mean	0,2036		0,2821	

Pada Tabel 1. dapat dilihat bahwa untuk mampu ulang (*repeatability*) pemosisian pada *setpoint* 15 deg menghasilkan nilai rata-rata *margin error* sebesar 0,2036 deg. Jika dibandingkan dengan nilai rata-rata *margin error* pada *setpoint* 360 deg sebesar 0,2821 deg terdapat selisih 0,0785 deg.

Kesimpulan dan Saran

Dengan nilai *gain* (K_{pos} , K_p , K_i) yang sesuai dapat memberikan nilai *margin error* yang lebih baik, namun demikian kondisi tersebut membuat sistem pengendali menjadi kurang responsif.

Pengaturan posisi angular pada sistem servo hidrolik yang dilakukan dapat mencapai ketelitian pemosisian hingga $\pm 337,464$ arc.sec. atau $\pm 0,09375$ deg dengan mampu ulang $\pm 0,2036$ deg.

Kebutuhan akan sistem pengendalian baik yang responsif maupun tidak, ditentukan berdasarkan kebutuhan aplikasi. Untuk aplikasi dengan pemosisian gerak presisi tinggi lebih sesuai menggunakan sistem yang kurang responsif, hal ini dapat mengurangi getaran dari gerakan respon pada aktuator. Pengaturan faktor *gain* ini cocok digunakan pada sistem hidrolik untuk menggerakkan beban torsi dan gaya inersia yang besar.

Daftar Referensi

[1] Fitzgerald, B. and Linden, C., The Control Valve's Hidden Impact on the

Bottom Line, Valve Manufacturer Association 2003

[2] Istanto, I. et al, Analisa Kinerja Pengaturan Posisi pada Sistem Servo Hidrolik, SNTTM XI & Thermofluid IV, Yogyakarta, 2012.

[3] Aerotech, A3200 Motion Controller and Windows Software, Pittsburgh, USA, 2000.

[4] Lambeck, R.P, Hydraulic Pump and Motors selection and application for hydraulic power control system, Marcel Dekker, New York, 1983.

[5] Sadeghieh, A. et al. Identification and real-time position control of servo-hydraulic rotary actuator by means of neurobiologically motivated algorithm, ISA Transactions 51, Elsevier, 2012, pp. 208 – 219.