

## Analisis Kinerja Pengaturan Posisi Pada Sistem Servo Hidrolik

*Positioning control of the hydraulic servo system performance analysis*

**Iwan Istanto, Nasril, Ahmad Musthofa, Galuh Prihantoro, Ahmad Taufiqur Rohman**

Balai Mesin Perkakas, Teknik Produksi dan Otomasi - MEPPPO  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi - BPPT  
Gedung Teknologi 2, PUSPIPTEK, Cisauk, Tangerang Selatan, Banten – 15314.  
E-mail: [nasril65@gmail.com](mailto:nasril65@gmail.com)

### Abstrak

Pada kebanyakan aplikasi, sistem hidrolik banyak digunakan seperti memindahkan beban yang berat, sebagai alat penekan dan pengangkat. Dalam industri banyak ditemui penggunaan sistem hidrolik pada alat-alat berat, seperti truk pengangkut (*dump truck*), *excavator*, mesin moulding, mesin press, mesin *flow forming*, forklift, *crane*, dan lain-lain.

Pada industri berat banyak menggunakan aktuator hidrolik sebagai sistem penggerak. Aktuator hidrolik yang ditandai oleh kemampuannya untuk memberikan kekuatan yang besar pada kecepatan yang tinggi, dalam aplikasinya dibutuhkan kinerja dinamis yang baik sehingga diperlukan suatu sistem kontrol yang memiliki umpan balik dan kontrol elektronik. Secara umum sistem kontrol elektronik untuk aktuator hidrolik adalah yang berbasis analog.

Sistem pengaturan posisi pada servo hidrolik dibentuk oleh satu sistem kontrol tertutup yang terdiri dari sistem pengaturan posisi, pengaturan kecepatan, pengaturan *flow*, piston hidrolik dan sensor *linear scale*. Komputer memberikan perintah ke sistem servo amplifier untuk membuka servo valve hidrolik sehingga dapat menggerakkan piston hidrolik ke posisi yang diperintahkan. Sensor *linear scale* digunakan sebagai sensor umpan balik yang memberikan data posisi piston hidrolik. Sistem servo amplifier dan sistem servo hidrolik menjaga posisi piston hidrolik dengan membandingkan posisi sebenarnya dari sensor *linear scale* dengan posisi yang dikehendaki sesuai perintah dari komputer serta melakukan koreksi kesalahan dengan mengatur arus listrik yang dikirimkan ke sistem servo valve sehingga piston hidrolik dapat mencapai posisi yang diperintahkan.

Pada tulisan ini dilakukan pemodelan matematik fungsi transfer dari sistem servo analog, servo hidrolik, piston hidrolik serta sensor *linear scale* yang akan digunakan dalam analisis kesalahan posisi dari gerakan piston hidrolik. Kesalahan posisi yang disebabkan oleh sistem servo hidrolik antara lain disebabkan oleh kecepatan respon sistem servo hidrolik pada mekanisme gerakan piston hidrolik. Kesalahan posisi pada kondisi *transient* dan kondisi tunak dari gerakan piston hidrolik merupakan akibat dari keterlambatan pencapaian kecepatan.

Pengaturan posisi pada sistem servo hidrolik yang dikembangkan dapat mencapai ketelitian sensor *linear scale* yang digunakan 0.5  $\mu\text{m}$ , hal ini dapat dicapai dengan menerapkan pengaturan parameter yang optimal. Hasil kerekayasa pengaturan posisi sistem servo hidrolik presisi tinggi diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan daya saing industri nasional terutama pada rancang bangun peralatan atau mesin perkakas berbasis servo hidrolik.

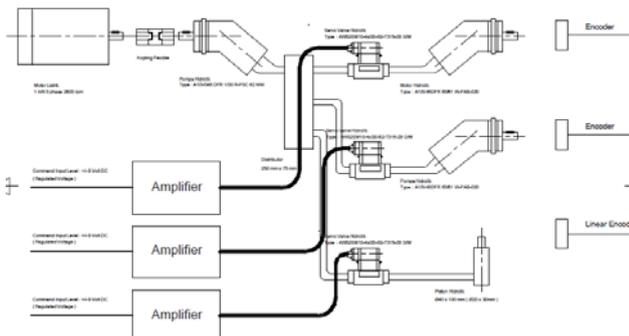
**Kata Kunci :** Servo hidrolik, pengaturan posisi, *linear scale*, kondisi *transient*, kondisi tunak.

**Pendahuluan**

Pada kebanyakan aplikasi, sistem hidrolik banyak digunakan seperti memindahkan beban yang berat, sebagai alat penekan dan pengangkat. Dalam industri banyak ditemui penggunaan sistem hidrolik pada alat-alat berat, seperti truk pengangkat (*dump truck*), *excavator*, mesin moulding, mesin press, mesin flow forming, forklift, crane, dan lain-lain.

Pada industri berat banyak menggunakan aktuator hidolik sebagai sistem penggerak. Aktuator hidrolik yang ditandai oleh kemampuannya untuk memberikan kekuatan yang besar pada kecepatan yang tinggi, dalam aplikasinya dibutuhkan kinerja dinamis yang baik sehingga diperlukan suatu sistem kontrol yang memiliki umpan balik dan kontrol elektronik. Secara umum sistem kontrol elektronik untuk aktuator hidrolik adalah yang berbasis analog.

Sistem pengaturan posisi pada servo hidrolik dibentuk oleh satu sistem kontrol tertutup yang terdiri dari sistem pengaturan posisi, pengaturan kecepatan, pengaturan *flow*, piston hidrolik dan sensor *linear scale*. Komputer memberikan perintah ke sistem servo amplifier untuk membuka servo valve hidrolik sehingga dapat menggerakkan piston hidrolik ke posisi yang diperintahkan. Sensor *linear scale* digunakan sebagai sensor umpan balik yang memberikan data posisi piston hidrolik. sistem servo amplifier dan sistem servo hidrolik menjaga posisi piston hidrolik dengan membandingkan posisi sebenarnya dari sensor *linear scale* dengan posisi yang dikehendaki sesuai perintah dari komputer serta melakukan koreksi kesalahan dengan mengatur arus listrik yang dikirimkan ke sistem servo valve sehingga piston hidrolik dapat mencapai posisi yang diperintahkan.

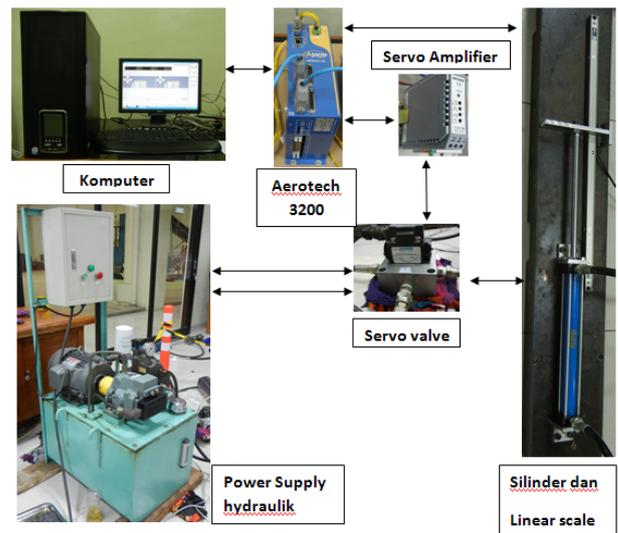


**Gambar 1.** Sistem servo hidrolik

**Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan**

Pada tulisan ini dilakukan pemodelan matematik fungsi transfer dari system servo analog, servo hidrolik, piston hidrolik serta sensor *linier scale* yang akan digunakan dalam analisis kesalahan posisi dari gerakan piston hidrolik. Kesalahan posisi yang disebabkan oleh system servo hidrolik antara lain disebabkan oleh kecepatan respon system servo hidrolik pada mekanisme gerakan piston hidrolik. Kesalahan posisi pada kondisi *transient* dan kondisi tunak dari gerakan piston hidrolik merupakan akibat dari keterlambatan pencapaian kecepatan.

Fasilitas yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sistem pengaturan posisi dengan servovalve hidrolik pada *power pack* kapasitas 22 L/min, tekanan kerja 70 bar (maks 210 bar) dan diameter piston 35 mm yang dikembangkan di Balai MEPPPO – BPPT. Rangkaian peralatan percobaan system hydraulic dapat dilihat pada gambar 2.

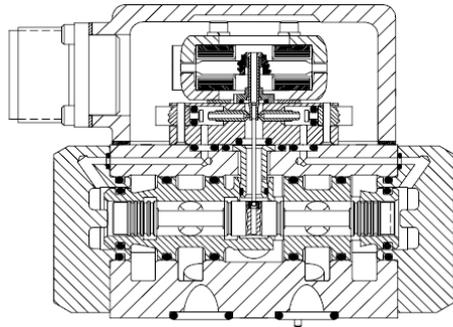


**Gambar 2.** Rangkaian percobaan system hydraulik

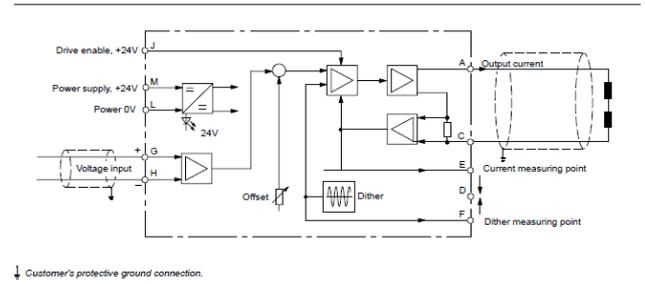
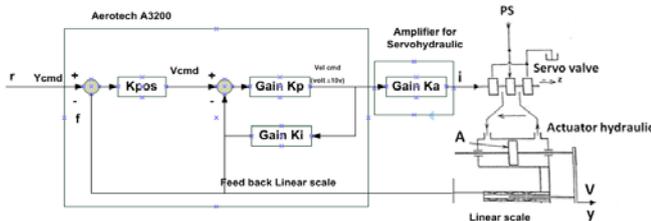
**Skema dan Numerik**

servovalve hidrolik dapat digunakan pada sistem kontrol loop tertutup dengan ketelitian pemosisian yang tinggi, mampu ulang yang tinggi, dan kekuatan atau torsi yang dapat diatur. Sebuah servovalve hidrolik dari Vickers type SM4-15(15)57-20/200-10 tekanan maksimum 210 bar dan kapasitas 57 L/min, dapat digunakan dengan silinder hidrolik, sensor posisi, dan kontrol servo sehingga menghasilkan sebuah kontrol posisi silinder hidrolik dengan ketelitian hingga 25 µm atau lebih baik (tergantung pada komponen, panjang pemilihan stroke, dan karakteristik beban).

- $K_{PID}$  = Gain PID system kontrol.
- $T$  = konstanta waktu.
- $z$  = posisi katup servovalve.
- $q$  = flow pada piston.
- $Q_o$  = flow pada pompa.
- $A$  = pe nampang piston.
- $V$  = k ecepatan piston.
- $y$  = pos isi piston.



Sistem kontrol servo hidrolik ini terdiri dari bagian kontrol posisi, kontrol kecepatan dan kontrol hidrolik yang secara terpisah digabungkan dengan sistem kontrol posisi dari *Aerotech A3200 Nservo third party controller* yang menggunakan interface DAC differensial  $\pm 10$ Volt (ICMDA+ dan ICMDA- dengan maksimum *voltage error*  $< 1\%$ ) ke bagian servovalve amplifier dengan type *Vickers Power Amplifier for Servo Valve EHA-PAM-291-A-20*  $\pm 200$ mA dengan linierity  $< 0.5\%$  untuk mengatur gerakan *parallel coil* dari motor torsi pada servovalve hidrolik. *Feedback* yang digunakan adalah *linier scale Magnescale* type GB-060ER 600mm dengan *resolusi*  $0.5\mu m$  dan sistem *accuracy*  $\pm(0.0025+0.0025.L/1000)$  mm.



**Gambar 3.** Servovalve hidrolik

Diagram blok sistem servo hidrolik yang sederhana di atas diturunkan dari persamaan-persamaan fluida berikut :

$$e = r - f$$

$$i = K_{PID} \cdot e$$

$$K_{PID} = \text{Gain PID system kontrol.}$$

$$T \cdot dz/dt + z = K_s \cdot i$$

$$q = Q_o \cdot z$$

$$q = A \cdot v$$

$$v = dy/dt.$$

dimana :

$e$  = perbedaan perintah dan *feedback* sistem hidrolik.

$r$  = perintah (resolusi 0.001 mm)

$f$  = *feedback*

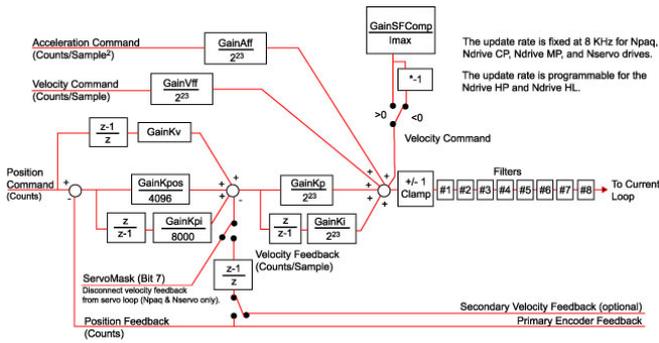
$i$  = arus untuk amplifier



**Gambar 4.** Third party Vickers servovalve amplifier

Kontrol amplifier servovalve hidrolik *Vickers Power Amplifier for Servo Valve EHA-PAM-291-A-20* menggunakan sistem analog kontrol untuk mengatur arus  $\pm 200$  mA yang dibutuhkan untuk menggerakkan atau menggetarkan (*dynamic control*) coil motor torsi yang terdapat dalam servovale hidrolik yang akan digunakan untuk membukatutup katup aliran fluida dari dan ke piston. Pengaturannya parameter diantaranya *gain*, *dither amplitude*, *dither frequency* dan *offset*

dilakukan secara manual yaitu dengan cara memutar potensiometer yang ada padanya.



Gambar 5. Diagram blok Aerotech A3200 Nservo third party controller

Kontrol posisi dan kecepatan Aerotech A3200 Nservo menggunakan sistem digital kontrol untuk mengatur parameter sistem kontrolnya antara lain GainKpos, GainKp, GainKi dan beberapa gain lainnya.

**Hasil dan Pembahasan**

Penerapan pengaturan parameter sistem servo yang optimal telah dilakukan pada sistem pengaturan posisi dengan servovalve hidrolik MEPPPO – BPPT sehingga diperoleh kesalahan posisi sistem servo sebesar ±2.5µm.

Hasil-hasil pengujian yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengambilan data pertama menggunakan parameter servo : Kpos = 28.5, Kp = 100 000, Ki= 710, Home = marker. Pengambilan data pertama dengan kecepatan 1000 mm/min.

Tabel 1. Ketelitian pemosisian sebelum optimasi

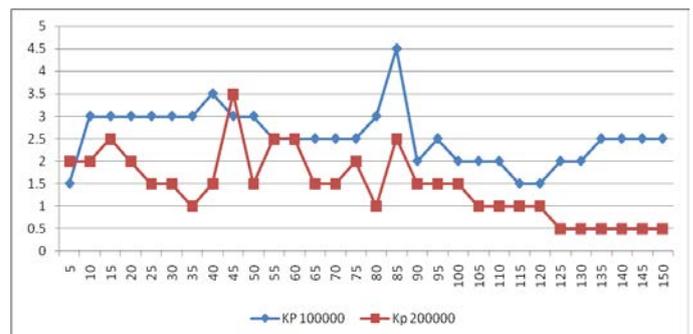
No	Target (mm)	Error (µm)	No	Target (mm)	Error (µm)
1	5	1.5	16	80	3
2	10	3	17	85	4.5
3	15	3	18	90	2
4	20	3	19	95	2.5
5	25	3	20	100	2
6	30	3	21	105	2

7	35	3	22	110	2
8	40	3.5	23	115	1.5
9	45	3	24	120	1.5
10	50	3	25	125	2
11	55	2.5	26	130	2
12	60	2.5	27	135	2.5
13	65	2.5	28	140	2.5
14	70	2.5	29	145	2.5
15	75	2.5	30	150	2.5

Pengambilan data kedua menggunakan parameter servo : Kpos = 28.5, Kp = 200 000, Ki = 1420, Home = marker. Pengambilan data kedua juga dengan kecepatan : 1000 mm/min.

Tabel 2. Ketelitian pemosisian sesudah optimasi

No	Target (mm)	Error (µm)	No	Target (mm)	Error (µm)
1	5	2	16	80	1
2	10	2	17	85	2.5
3	15	2.5	18	90	1.5
4	20	2	19	95	1.5
5	25	1.5	20	100	1.5
6	30	1.5	21	105	1
7	35	1	22	110	1
8	40	1.5	23	115	1
9	45	3.5	24	120	1
10	50	1.5	25	125	0.5
11	55	2.5	26	130	0.5
12	60	2.5	27	135	0.5
13	65	1.5	28	140	0.5
14	70	1.5	29	145	0.5
15	75	2	30	150	0.5



Grafik 1. Ketelitian pemosisian

Ketelitian pemosisian sebelum optimasi :  $\pm 1.75 \mu\text{m}$ .  
 Ketelitian pemosisian sesudah optimasi :  $\pm 1.5 \mu\text{m}$ .

Pengambilan data untuk melihat kemampuan ulang dengan menggunakan parameter servo :  $K_{pos} = 28.5$ ,  $K_p = 200\ 000$ ,  $K_i = 1420$ , Home = marker dengan dua macam kecepatan : 1000 mm/min. Pada dua posisi pengambilan 50 mm dan 100 mm.

**Tabel 3.** Repeatability pemosisian sesudah optimasi pada posisi 50mm

No	Target (mm)	Error ( $\mu\text{m}$ )	
		Kp 100000	Kp 200000
1	50	4.5	2
2	50	3	1
3	50	3	1
4	50	3.5	1
5	50	3	1.5
6	50	3	2
7	50	3	1.5

Repeatability sebelum optimasi :  $\pm 0.75 \mu\text{m}$ .  
 Repeatability sesudah optimasi :  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ .

**Tabel 4.** Repeatability pemosisian sesudah optimasi pada posisi 100mm

No	Target (mm)	Error ( $\mu\text{m}$ )	
		Kp 100000	Kp 200000
1	100	5.5	1.5
2	100	5.5	0.5
3	100	4.5	0.5
4	100	4.5	0.5
5	100	4	0.5
6	100	4.5	0.5
7	100	4	0.5

Repeatability sebelum optimasi :  $\pm 0.75 \mu\text{m}$ .  
 Repeatability sesudah optimasi :  $\pm 0.50 \mu\text{m}$ .

**Kesimpulan**

Pengaturan posisi pada sistem servo hidrolik yang dikembangkan dapat mencapai ketelitian pemosisian

hingga  $\pm 1.5 \mu\text{m}$  dengan repeatability  $\pm 0.5 \mu\text{m}$ , hal ini diperoleh dengan menerapkan pengaturan parameter sistem servo hidrolik yang optimal. Hasil kerekayasa pengaturan posisi sistem servo hidrolik presisi tinggi ini diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan daya saing industri nasional terutama pada rancang bangun peralatan atau mesin perkakas berbasis servo hidrolik.

**Referensi**

- [1]. Aerotech, "A3200 Motion Controller and Windows Software", Pittsburgh, USA, 2000.
- [2]. Lambeck, R.P, Hydraulic Pumps and Motors selection and application for hydraulic power control systems, Marcel Dekker, New York, 1983.
- [3]. Pippenger, Industrial Hydraulic, 3rd edition, McGraw-Hill International, Singapore, 1980.
- [4]. Ogata.K, Modern Control Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [5]. Slocum, A.H., Precision Machine Design, Prentice Hall Int, New Jersey, 1992.
- [6]. Tlusty, J, Manufacturing Process and Equipment, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [7]. Weck, M., Machine Tools Hand Book, John Wiley & Sons, Ney York, 1980.