

Analisa Pemodelan dan Simulasi Gerak Aktuator Punch pada Mesin Pres untuk proses Deep Drawing

Masruki Kabib^{1,a,*}, I Made Londen Batan^{2,b}, Bambang Pramujati^{3,c}
Agus Sigit Pramono^{4,d}

¹ Mahasiswa Doktoral Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

^{2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS, Sukolilo Surabaya Indonesia

^amasruki13@mhs.me.its.ac.id, ^blondbatan@me.its.ac.id, ^cpramujati@me.its.ac.id,

^dpramono@me.its.ac.id

Abstrak

Kualitas hasil proses *deep drawing* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah *punch force*. Untuk mendapatkan *punch force* yang sesuai kebutuhan diperlukan analisa terhadap aktuator hidrolik. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan gerak aktuator hidrolik pada proses pembentukan benda kerja berbentuk *cup* dengan material kuningan. Metode yang digunakan adalah pemodelan sistem untuk memodelkan bentuk fisik menjadi model matematik dan mensimulasikan gerak aktuator untuk mendapatkan performansi respon dinamikanya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa gaya aktuator hidrolik pada saat bekerja dengan performansi yang kurang baik yaitu membutuhkan *rise time* 0,5 s, *settling time* 4 detik dan *overshoot* 30%, sehingga diperlukan pengendalian untuk mengurangi *settling time* dan *overshoot*, serta kecepatan gerak aktuator diperlukan pengendalian untuk mencapai kecepatan dalam waktu kurang dari 1 detik.

Kata kunci : pemodelan, simulasi, *punch force*, aktuator hidrolik, *Deep Drawing*.

Pendahuluan

Beberapa komponen mesin diproduksi dengan proses pembentukan logam (*metal forming*), terutama komponen dengan bahan baku berbentuk plat. Komponen mesin dengan bentuk profil tertentu merupakan hasil proses *deep drawing*. Pada proses *deep drawing* dapat menghasilkan benda kerja dengan bentuk sederhana dan ada juga dengan bentuk yang kompleks. Kualitas hasil proses *deep drawing* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah *punch force*.

Pada mesin pres dengan penggerak sistem hidrolik, *punch force* dihasilkan oleh gerak aktuator hidrolik. Kebutuhan besarnya *punch force* ditentukan oleh jenis material dan dimensi benda kerja yang akan dibentuk.

Punch force yang terlalu kecil mengakibatkan benda kerja tidak dapat terbentuk dengan

sempurna, sedangkan *punch force* yang terlalu besar dapat menyebabkan cacat pada benda kerja. Sehingga untuk mendapatkan *punch force* yang sesuai diperlukan analisa terhadap aktuator hidrolik.

Aktuator hidrolik merupakan komponen yang merubah tekanan fluida menjadi gaya gerak. Untuk membangkitkan fluida bertekanan diperoleh dari Pompa hidrolik. Tekanan fluida yang masuk ke aktuator diatur oleh *relief valve* dan kapasitas fluida diatur oleh *solenoid valve*. Aktuator hidrolik bergerak membawa beban massa torak, batang torak dan *punch*. Sedangkan saat proses pembentukan benda kerja aktuator harus memberikan *punch force*

yang cukup agar hasil proses *deep drawing* tanpa mengalami cacat. Untuk mendapatkan gaya dan kecepatan gerak aktuator yang sesuai dengan kebutuhan proses *deep drawing* diperlukan analisa terhadap gerak aktuator hidrolis. Analisa Sistem hidrolis dapat dilakukan dengan memodelkan dan mensimulasikan aktuator hidrolis dengan menggunakan *Bond Graph Model* [1]. Gerak aktuator hidrolis dapat dikendalikan dengan menggunakan *proportional solenoid valve*, untuk mengatur arah dan debit aliran yang masuk [2]. Gerak aktuator juga dapat dikendalikan dengan menggunakan servo valve [3].

Aktuator hidrolis merupakan sistem nonlinier, karena menggerakkan beban, adanya *deadband* sensitifitas aliran, histerisis aliran asimetrik, dan *saturation*. Pemodelan beban statik dan dinamik pada aktuator hidrolis dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan sistem kontrol posisi dan gaya [4]. Pengendalian gerak aktuator juga dapat dilakukan dengan mengatur aliran dan tekanan, melalui pengendalian kecepatan motor penggerak pompa[5].

Model matematik dapat di kembangkan pada komponen hidrolis dengan mempertimbangkan kebutuhan sistem, karakteristik sistem dan sifat aliran fluida [6]. Pembuatan model matematik dapat dilakukan dengan teknik identifikasi sistem [7].

Gerak aktuator hidrolis merupakan gerak dinamis, sehingga gaya yang dihasilkan oleh aktuator dipengaruhi oleh tekanan fluida yang masuk dan keluar, luas permukaan torak pada sisi masuk dan keluar, massa beban, gravitasi, gaya gesekan dan *punch force*. Gerak aktuator juga dapat dimodelkan dan dikendalikan dengan menggunakan metode Lapunov's [8]. Posisi gerak aktuator dapat dikendalikan dengan mengatur aliran fluida yang melalui *Proportional solenoid valve* [9]. Kecepatan gerak aktuator dapat di tingkatkan dengan menggunakan aktuator dengan 4 lubang fluida, yang juga mampu meningkatkan efisiensi energi [10]. Berbagai sistem pengendalian pada aktuator hidrolis dapat diterapkan pada mekanisme proses pembentukan logam.

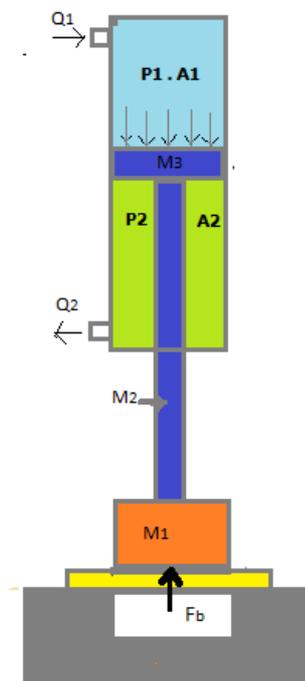
Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mensimulasikan gerak aktuator hidrolis pada proses *deep drawing* dengan benda kerja berbentuk *cup* dengan menggunakan material kuningan.

Metodologi

Metode yang digunakan adalah (1). Pemodelan sistem untuk memodelkan bentuk fisik menjadi model matematik, pemodelan dilakukan terhadap mekanisme *deep drawing* dan gerak aktuator hidrolis. (2) mensimulasikan gerak aktuator untuk mendapatkan performansi respon dinamikanya, yaitu respon *punch force* terhadap waktu dan respon kecepatan gerak aktuator terhadap waktu.

Hasil

Pada mesin pres, posisi *punch* berada di ujung batang torak aktuator, sehingga dapat mempengaruhi kecepatan gerak aktuator. Pada proses *deep drawing* benda kerja (*blank*) ditempatkan diatas *dies* dan dicekam oleh *blank holder*. Mekanisme gerak aktuator *punch* pada proses *deep drawing* ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme gerak aktuator punch pada proses *deep drawing*.

Pada gambar 1 ditunjukkan bahwa massa beban yang digerakkan oleh aktuator hidrolik meliputi massa *punch*, batang torak dan torak, sehingga didapatkan massa beban sebagaimana persamaan 1.

$$M = M_1 + M_2 + M_3 \quad (1)$$

Dimana ; M adalah massa beban, M_1 adalah massa *punch*, M_2 adalah massa batang torak dan M_3 adalah massa torak.

Dengan menggunakan data parameter $M_1 = 2,2$ kg, $M_2 = 3,6$ kg dan $M_3 = 2,4$ kg, maka diperoleh massa beban $M = 9,2$ kg.

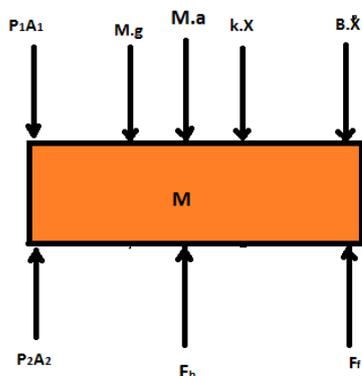
Pada proses *deep drawing* untuk pembentukan cup diperlukan gaya pembentukan. Besarnya gaya *deep drawing* (*punch force*) sebagaimana persamaan 2.

$$F_b = \pi \cdot D_p \cdot t \cdot \sigma_{UTS} \cdot \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right) \quad (2)$$

Dimana; D_p adalah diameter *punch*, t adalah tebal benda kerja, σ_{UTS} adalah tegangan tarik maksimum, dan D_b adalah diameter *blank*.

Pada persamaan 2 dengan menggunakan material kuningan dan data parameter $D_p = 38$ mm, t = 3 mm, $D_b = 71,8$ mm, dan $\sigma_{UTS} = 300$ N/mm², maka diperoleh gaya *deep drawing* sebesar 127735,2 N.

Dari gambar 1 diperoleh *free body diagram* sebagaimana gambar 2.



Gambar 2. *Free body diagram* gerak aktuator *punch*

Dari gambar 2 diperoleh persamaan gerak dinamis, sebagaimana persamaan 3 :

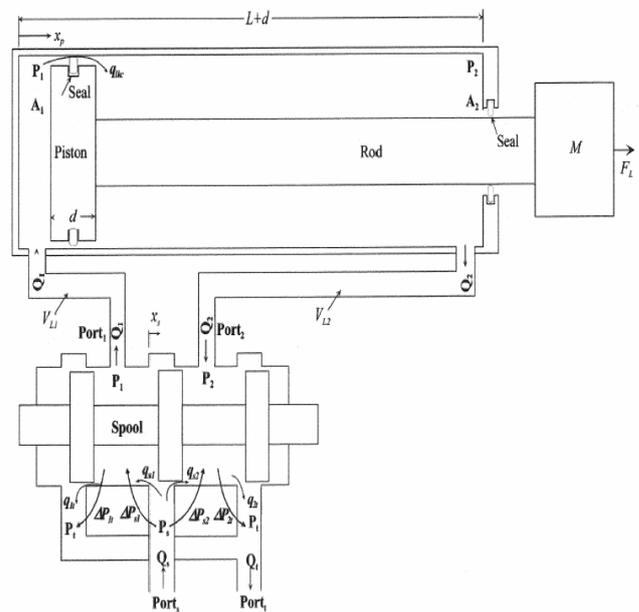
$$M \cdot a = -P_1 A_1 + P_2 A_2 - M \cdot g + F_f + F_b - B \cdot \dot{X} - k \cdot X \quad (3)$$

Persamaan *state variable* :

$$\begin{aligned} \dot{X} &= V \\ \dot{V} &= \frac{1}{M} [-P_1 A_1 + P_2 A_2 - M \cdot g + F_f + F_b - B \cdot \dot{X} - k \cdot X] \end{aligned} \quad (4)$$

Dimana : M adalah massa beban, P adalah tekanan fluida, A adalah luas torak, g adalah gravitasi, F_f adalah gaya gesek dan F_b adalah *punch force*.

Gerak aktuator di tentukan oleh besarnya kapasitas dan tekanan fluida yang masuk. Nilai kapasitas fluida akan mempengaruhi kecepatan dan langkah aktuator. Sedangkan tekanan fluida akan mempengaruhi besarnya gaya yang dihasilkan aktuator. Besarnya aliran fluida yang melalui valve masuk ke aktuator ditunjukkan sebagaimana gambar 3.



Gambar 3. Diagram solenoid valve dan aktuator hidrolik [11]

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa besarnya kapasitas fluida Q_1 yang masuk ke aktuator sebagian akan masuk ke sisi kanan torak sebesar q_{lkc} . Sehingga hubungan kapasitas fluida pada sisi masuk aktuator ditunjukkan oleh persamaan 5.

$$Q_1 - q_{lkc} = \frac{dV_{L1}}{dt} + \frac{V_{L1}dP_1}{\beta_{e1}dt} \quad (5)$$

Sedangkan hubungan kapasitas fluida pada sisi keluar ditunjukkan oleh persamaan 6.

$$q_{lkc} - Q_2 = \frac{dV_{L2}}{dt} + \frac{V_{L2}dP_2}{\beta_{e2}dt} \quad (6)$$

Hasil pemodelan aliran fluida yang masuk ke aktuator diperoleh persamaan *state variable* kapasitas fluida yang masuk ke aktuator, sebagaimana persamaan 7 :

$$Q_1 = q_{lkc}(P_1 - P_2) + A_1V_p + \frac{V_{L1} + A_1X_p dP_1}{\beta_{e1}(P_1)dt} \quad (7)$$

Dimana; Q_1 adalah kapaitas fluida yang masuk ke aktuator, q_{lkc} adalah kapasitas fluida yang masuk ke sisi kanan torak, P_1 adalah tekanan pada sisi masuk, P_2 adalah tekanan pada sisi keluar, A_1 adalah luas permukaan torak, V_p adalah kecepatan torak, V_{L1} adalah volume fluida pada sisi masuk, x_p adalah panjang langkah torak dan β_{e1} adalah modulus bulk.

Sedangkan persamaan *state variable* kapasitas fluida yang keluar dari aktuator, sebagaimana persamaan 8.

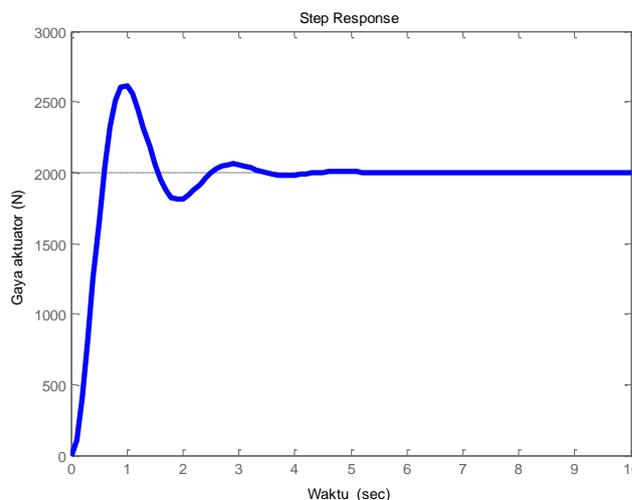
$$Q_2 = -q_{lkc}(P_1 - P_2) + A_2V_p + \frac{V_{L2} + A_2(L - X_p)dP_2}{\beta_{e2}(P_2)dt} \quad (8)$$

Dimana; Q_2 adalah kapaitas fluida yang keluar dari actuator, q_{lkc} adalah kapasitas fluida yang masuk ke sisi kanan torak, P_1 adalah tekanan pada sisi masuk, P_2 adalah tekanan pada sisi keluar, A_2 adalah luas permukaan torak sisi kanan, V_p adalah kecepatan torak, V_{L2} adalah volume fluida pada sisi keluar, x_p adalah panjang langkah torak, L adalah panjang silinder dan β_{e2} adalah modulus bulk.

Dari persamaan 4 dengan memasukkan data diperoleh *transfer function* persamaan input output sebagaimana persamaan 9.

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{20000}{8,2s^2 + 20s + 100} \quad (9)$$

Dari persamaan 9 di simulasikan diperoleh grafik respon dinamik sebagaimana gambar 4 :



Gambar 4. Grafik respon gaya aktuator terhadap waktu

Pada gambar 4 menunjukkan respon dari gaya aktuator pada saat bekerja untuk proses *deep drawing*. Waktu yang dibutuhkan untuk *rise time* 0,5 detik, *settling time* 4 detik dan terjadi *overshoot* 30%. Hal ini menunjukkan pada saat gaya aktuator bekerja tidak stabil dan membutuhkan waktu 4 detik untuk stabil, sedangkan proses *deep drawing* berlangsung 3 detik. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas hasil proses *deep drawing*. Gaya *punch* yang tidak stabil dapat menyebabkan cacat pengkerutan dan pecah pada benda kerja. Oleh karena itu diperlukan pengendalian gaya aktuator agar dapat mengurangi waktu *settling time* dan *overshoot*.

Dari persamaan 7 dan 8 diperoleh persamaan 10.

$$Q_1 + Q_2 - 2q_{lkc}(P_1 - P_2) = AV_p + \frac{V}{\beta_{e2}} \left[\frac{dP_1}{dt} - \frac{dP_2}{dt} \right] \quad (10)$$

Dengan ;

$$Q = \frac{Q_1 - Q_2}{2}$$

Dan ;

$$P = P_1 + P_2$$

Maka dari persamaan 10 menjadi persamaan 11.

$$Q = q_{lkc}P + AV_p + \frac{V}{2\beta_e} \frac{dP}{dt} \quad (11)$$

Pada valve besarnya kapasitas fluida yang mengalir dipengaruhi oleh bukaan valve dan perbedaan tekanan, sehingga dengan persamaan 12.

$$Q = K_q y - K_c P \quad (12)$$

Diperoleh persamaan 13,

$$K_q y - K_c P = q_{lkc}P + AV_p + \frac{V}{2\beta_e} \frac{dP}{dt} \quad (13)$$

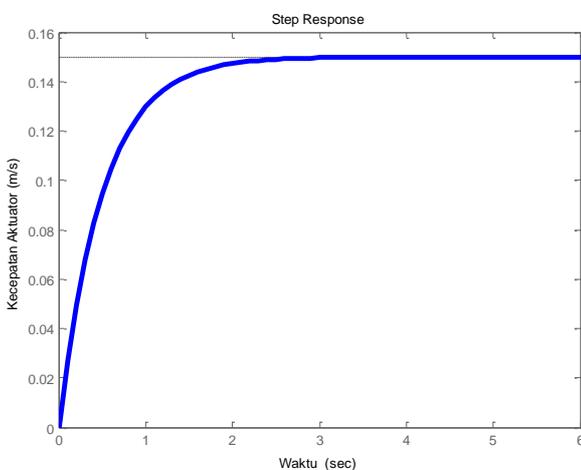
Dari persamaan 13 di deferensialkan diperoleh persamaan orde satu sebagaimana persamaan 14.

$$\frac{V}{2\beta_e} \dot{P} + CP = K_q y - A\dot{X} \quad (14)$$

Dimana;

$$C = q_{lkc} + K_c$$

Dari persamaan orde satu disimulasikan diperoleh grafik respon kecepatan gerak aktuator terhadap waktu, sebagaimana gambar 5.



Gambar 5. Grafik respon kecepatan gerak aktuator terhadap waktu

Gambar 5 menunjukkan bahwa kecepatan gerak aktuator memiliki performansi yang kurang baik dengan *settling time* 2,2 detik

untuk mencapai kecepatan 0,15 m/s. sehingga kecepatan aktuator pada saat proses deep drawing belum mencapai kecepatan konstan. Untuk memperbaiki performansi ini diperlukan pengendalian kecepatan gerak aktuator, agar dapat mencapai kecepatan 0,15 m/s dalam waktu kurang dari 1 detik.

Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan gaya aktuator hidrolik pada saat bekerja dengan performansi yang kurang baik yaitu membutuhkan *rise time* 0,5 s, *settling time* 4 detik dan *overshoot* 30%. Sehingga diperlukan pengendalian untuk mengurangi *settling time* dan *overshoot*. Sedangkan kecepatan gerak aktuator mempunyai performansi yang kurang baik yaitu *settling time* 2,2 detik, sehingga diperlukan pengendalian untuk mencapai kecepatan dalam waktu kurang dari 1 detik.

Referensi

- [1] Damic V., Cohodar M., Kulenovic M., , Modeling and Simulation of Hydraulic System by Bonding Graphs, proceeding of the 23rd International DAAAM symposium, Volume 23 No. 1, 2012, ISSN 2304-1382, ISBN 978-3-901509-91-9. Viena Austria
- [2] Tamer M. Menshawy, Mohamed A. Moghazy, Ahmed H. Lotfy, Investigation of Dynamic Performance of an Electro-Hydraulic Proportional System, 13th International Conference on Aerospace Sciences And Aviation Technology, Cairo Egypt, May 26-28 2009.
- [3] Dechrit Maneetham, Nitin Afzulpurkar , Modelling Simulation and Control of High Speed Non-linier Hydraulic Servo System, World Journal of Modelling and Simulation, Vol. 6 (2010) No. 1, pp. 27-39.
- [4] Panagiotis Chatzakos, Evangelos Papadopoulos, On Model-based Control of Hydraulic Actuators, Proceedings of RAAD'03, 12th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region Cassino May 7-10, 2003.
- [5] Louvree Darko, Kastreve Mitja, Ulaga Samo, Electro-hydraulic load sensing with a Speed Hydraulic supply System on

- Forming Machine, *International Journal Advance Technology*, DOI 10.1007/s00170-008-1553-y, 2008.
- [6] Sagar Vijaya Tenali, Simulation of Electro Hydraulic Servo Actuator, thesis Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela.
- [7] Rahmat M.F., Rozali Md., Wahab Abdul, Zulfatman, Jusoff Kamaruzaman, Modeling and Design of an Electro-Hydraulic Actuator System, *American Journal of Applied Science* 7(8), ISSN 1546-9239, pp 1100-1108, 2010.
- [8] Grzybek Dariusz, Control System of The Hydraulic Cylinder Motion Synchronization with the Controller Designed on The Basis of The Direct Lapunov's Method, *Mechanics* vol. 28 No. 3, 2009, pp 83-90.
- [9] Munaf F. Badr, Employing Analogue and Digital Solenoid Hydraulic Valve, *Journal of Engineering and Development*, Vol. 16 No. 3, September 2012, ISSN 1813-7822, pp 269-286.
- [10] Osman Abdalla M., Nagarajan T., Fakhrudin M. Hasyim, Analysis of Innovative Design of Energy Efficient Hydraulic Actuator, *International Journal of Engineering Research and Application (IJERA)* ISSN 2248-9622, Vol. 3 Issue 1, januari-February 2013, pp. 1-7.
- [11] Marcin Stefan Cwiklinski, Impedance Control of a Hydraulic Servomechanism, Dissertation Departamento de Engenharia Macanica, Universidade de aveiro, 2009.