Aplikasi *Sliding Mode Controller* pada Kontrol Posisi Sistem Servo Pneumatic

Pippie Arbiyanti
Program Studi DIII Mekatronika, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Kampus III Paingan, Maguwoharjo, Depok Sleman, Telp. 0274-883037
pipie@staff.usd.ac.id

Abstract

The purpose of this paper is to develop control algorithm based on sliding mode control scheme for servo-pneumatic system. Position control is investigated to enhance the capability and performance of the system. Because of the highly nonlinear basic equation system, the simulation of this servo-pneumatic modeling is excluded from this paper. These sliding mode controller implementation responses then compared with PID controller responses. Finally, a series of experiments are carried out and the experimental results prove that sliding mode controller is superior to the PID controller.

Keywords: *Sliding Mode Controller, servo pneumatic, PID*

1. Pendahuluan

Pneumatik merupakan suatu sistem yang menggunakan udara bertekanan sebagai sumber tenaga. Sistem pneumatik ini telah banyak digunakan dalam bidang teknik industri, terutama dalam proses kontrol dan otomasi industri. Hal ini disebabkan karena karakteristik sistem pneumatik yang menguntungkan, yaitu aman, bersih, instalasi dan perawatan mudah, mampu bekerja pada suhu tinggi, andal, dan murah.

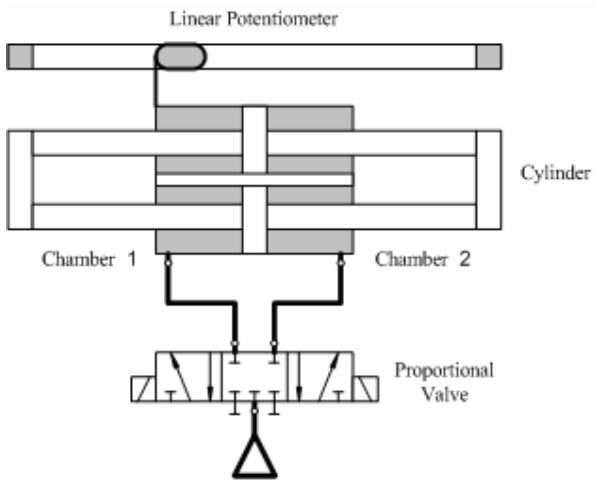
Saat ini, penggunaan aktuator pneumatik tidak hanya untuk transfer energi saja, tetapi juga dibutuhkan keakuratannya, terutama dalam kontrol posisi. Dalam sistem pneumatik biasa, silinder pneumatik hanya dapat berhenti pada dua titik posisi, yaitu posisi maksimal dan minimal saja. Para peneliti telah sistem *servo pneumatic* yang memungkinkan silinder dapat dikendalikan untuk bergerak menuju posisi yang diinginkan dalam lintasannya. Namun, dalam kenyataannya silinder pneumatik sukar dikendalikan secara akurat karena sifat nonlinearitas dari udara [8].

Tuntutan akan kebutuhan sistem pneumatik yang lebih efektif dan akurat dalam industri telah menghasilkan penelitian-penelitian untuk mengombinasikan sistem pneumatik dengan kontrol elektronik (*electronic signal processing control*). Beberapa macam teknik kendali telah diaplikasikan untuk mengendalikan sistem ini, seperti *PID controller, feedback linearization, sliding mode controller,* dan *adaptive controller.* Untuk kelompok kendali nonlinear, *sliding mode controller* (SMC), atau dikenal dengan *variable structure control*, telah dapat diaplikasikan dengan baik dalam sistem yang nyata [10]. SMC merupakan sistem kendali kokoh dan telah diterima secara luas sebagai sebuah metode kendali sistem nonlinear yang efisien [9]. Maka tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan *sliding mode controller* (SMC) untuk kendali posisi pada sistem servo pneumatic.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Pemodelan Sistem *Servo pneumatic*

Gambar 1. menunjukkan skema penyetingan kendali posisi sistem pneumatik untuk percobaan ini.



Gambar 1. Skema sistem kendali posisi pneumatik

Persamaan nonlinear pada sistem kendali posisi pneumatik dapat diturunkan dari teori termodinamika dan fisika tentang gas. Namun pemodelan dinamik untuk sistem pneumatik sulit dilakukan karena sifat nonlinearitas udara dan banyaknya parameter pada sistem. Untuk mendapatkan persamaan gerak pada sistem, digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut;

a. Gas adalah gas ideal,
b. Tekanan dan suhu dalam ruang homogen,
c. Energi kinetik dan potensial diabaikan,
d. Respon katup servo lebih cepat daripada silinder pneumatik,
e. Tekanan udara dari kompresor konstan.

Dengan asumsi-asumsi di atas, pemodelan dinamik untuk sistem *servo-pneumatic* dapat dideskripsikan dalam persamaan nonlinear sebagai berikut:
Persamaan gas ideal:

$$P_i V_i = M_i RT \qquad i = 1,2 \tag{1}$$

dengan V_i = volume udara dalam ruang i
M_i = massa fluida total dalam ruang i
P_i = tekanan dalam ruang i
T = suhu udara
R = konstanta gas = 29.2 m/K

Berdasarkan Gambar 1 dan dengan mengabaikan faktor-faktor nonlinear, model matematik sistem dapat dideskripsikan sebagai persamaan diferensial order ke-dua berikut:

$$A(P_1 - P_2) = M\ddot{x} + \mu sign(\dot{x}) + C\dot{x} \tag{2}$$

dengan A = luas penampang silinder
μ = koefisien gesekan
C = koefisien viskositas
x = posisi silinder

Dengan mengabaikan faktor gesekan, persamaan nonlinear sistem dapat ditulis:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} = A(P_1 - P_2) \tag{3}$$

2.2. *Sliding Mode Controller*

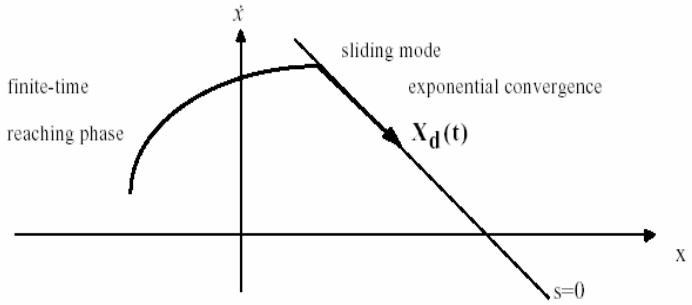
Sliding mode controller (SMC) merupakan salah satu jenis *variable structure control system* (VSCS), yang termasuk dalam teknik kendali kokoh, terutama untuk permasalahan kendali sistem nonlinear. *SMC* telah banyak diaplikasikan pada beberapa macam sistem. Mattavelli, *et al.* [7] menggunakan SMC untuk aplikasi pengendalian *DC/DC converter*. Yong, et al. [12] menggunakannya dalam pengendalian sistem *servo electro-hydraulic*. Gutierrez [6] dan Al-Muthairi dan Zribi [1] menggunakannya dalam pengendalian sistem *magnetic levitation*. Sedangkan Furuta dan Tomiyama [5] menggunakan SMC untuk *robot manipulator*.

Merujuk pada Slotine [10], dalam aplikasi pemodelan, desain SMC menunjukkan kinerja yang baik untuk mendapatkan stabilitas dan performa yang konsisten.

Secara teoritis, SMC digunakan dalam desain teknik kendali untuk mengarahkan respon *trajectory* ke dalam *sliding surface (switching surface)* dan menjaganya sehingga pergerakannya stabil. Metode desain SMC terdiri atas dua komponen yaitu desain fungsi *sliding surface* dan pemilihan teknik kendali.

a. Desain S*liding Surface*

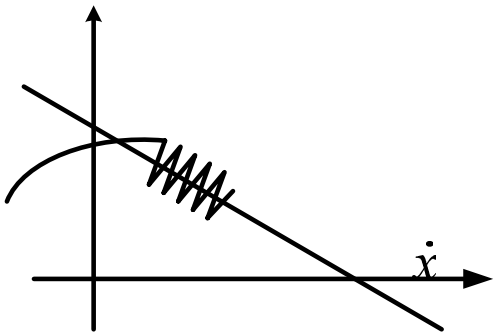
Bagian ini mendesain SMC sebagai respon umpan balik kecepatan tinggi dalam sliding mode. Sebagai contoh, konstanta tiap bagian umpan balik berpindah *(switching)* diantara dua nilai yang ditentukan. Tujuan kendali switching ini adalah untuk mengarahkan variabel nonlinear sistem ke dalam suatu lintasan permukaan yang ditentukan dan menjaga agar tetap berada pada lintasannya sepanjang. Lintasan permukaan ini disebut dengan *switching surface* atau *sliding surface*. Perilaku sliding mode ini diperlihatkan pada Gambar 2.



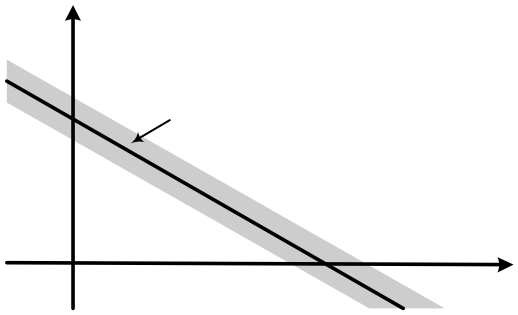
Gambar 2. Grafik perilaku *sliding mode*

b. Desain Teknik Kendali

Desain teknik kendali adalah mendesain *feedback control law u* untuk memperoleh *sliding surface* sehingga lintasan antara kendali dan posisi yang lebih halus dapat tercapai. Jika implementasi *switching* kendali kurang tepat, dapat mengakibatkan hal yang tidak diinginkan yaitu *chattering* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Untuk menghindari terjadinya chattering ini, metode SMC dapat dikombinasikan dengan metode kendali yang lain. Song [11] mengaplikasikan *continuous sliding mode control* dalam servo-pneumatic sistem. Metode lain adalah dengan menggunakan *fuzzy sliding mode control* [9] dan dengan menggunakan *adaptive robust sliding mode control* [5]. Slotine [10] memberikan teori untuk mengurangi *chattering* ini dengan memperhalus diskontinyuitas kendali dengan menambahkan layar tipis pada batas *sliding surface*.



Gambar 3. *Chattering*



Gambar 4. Penambahan layar tipis pada batas *sliding surface*

3. Metode Penelitian

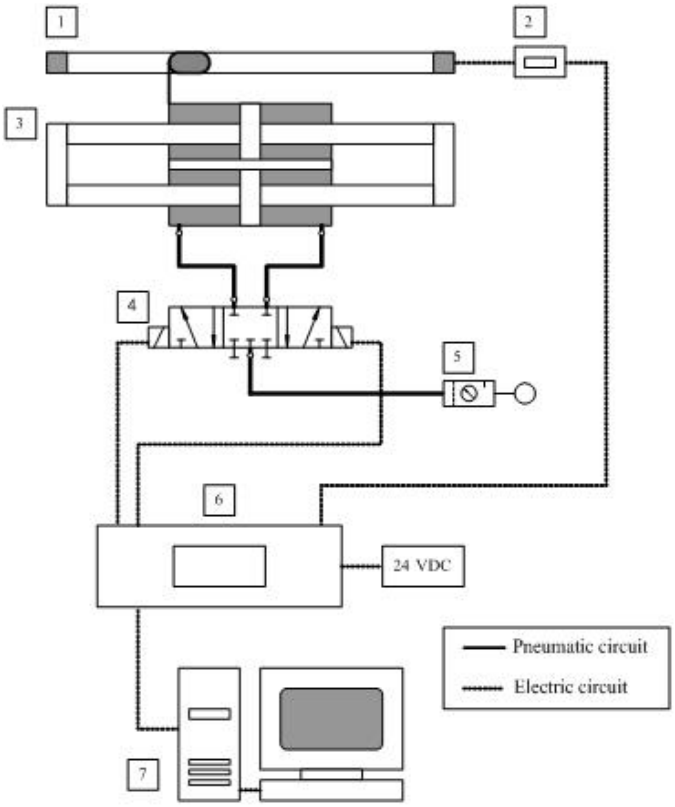
3.1. Sistem *Servo Pneumatic*

$X_d(t)$

Layout peralatan dalam percobaan ini ditunjukkan pada gambar 3.1. Percobaan ini bertujuan untuk membandingkan dua buah metode teknik kendali pada sistem *servo pneumatic*, yaitu metode kendali PID *(Proportional-Integral-Derivative)* dan SMC *(Sliding Mode Controller).* Masing-masing metode diatas memerlukan rangkaian pneumatik dan strategi pengendalian tertentu. Kendali PID mewakili sistem kendali konvensional, sedangkan SMC mewakili sistem kendali berteknologi kokoh *(robust technology).*

x

s=0



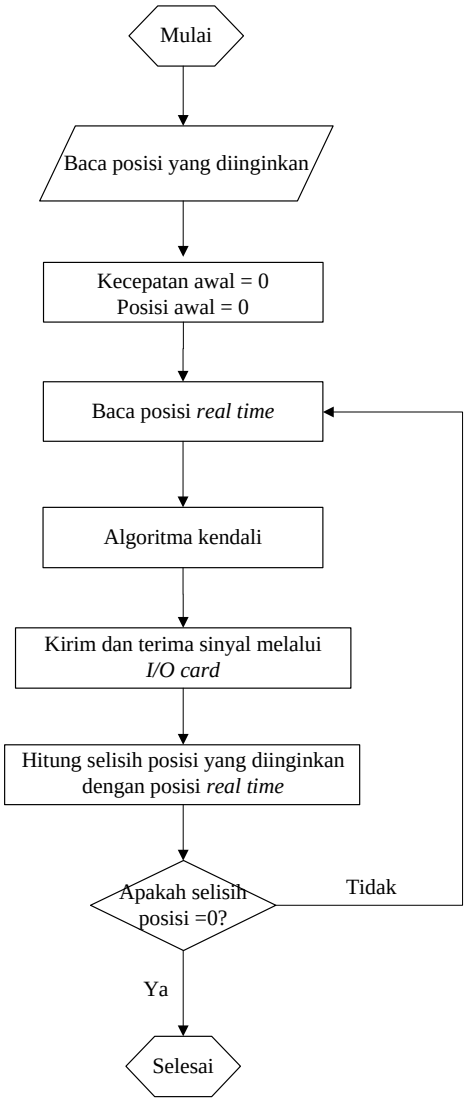
Keterangan:

1. *Linear potentiometer*
2. Tegangan referensi pada potensiometer
3. *Rodless pneumatic cylinder*
4. 5/3 *Proportional directional control valve*
5. Pasokan udara dari kompresor
6. *Electronic interface*
7. Komputer

Gambar 5. *Layout* peralatan

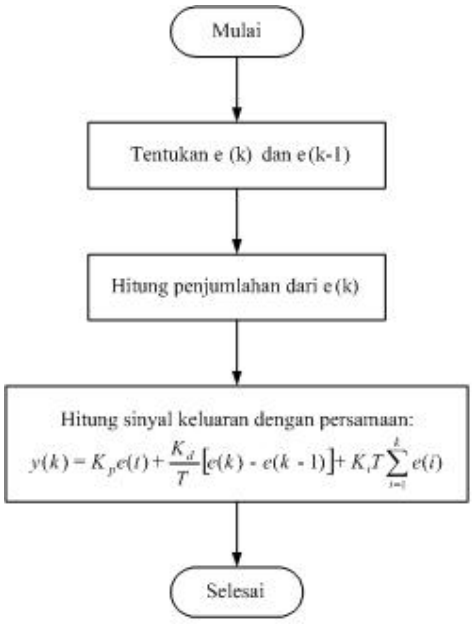
3.2. Teknik Kendali

Pemrograman untuk kendali PID dan SMC ditulis dalam bahasa C. Spesifikasi sistem yang diharapkan adalah reaksi yang cepat dan akurat, *overshoot* yang minimal, dan *error* kecil. Diagram alir utama kendali sistem ditunjukkan pada Gambar 3.

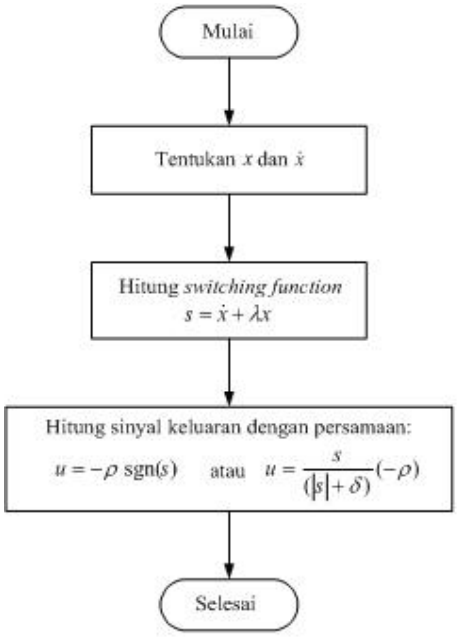


Gambar 6. Diagram alir utama kendali sistem

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan, implementasi kendali PID dan SMC dalam percobaan ini digambarkan dalam diagram alir program kendali pada Gambar 7 dan 8 berikut ini:



Gambar 7. Diagram alir program kendali PID



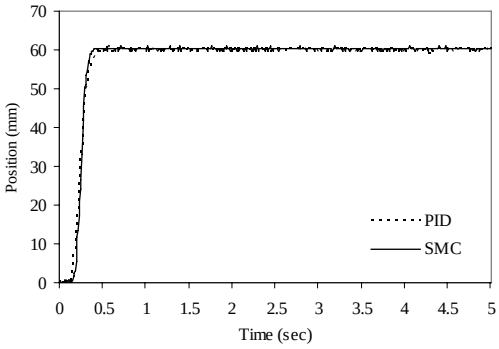
Gambar 8. Diagram alir program kendali SMC

4. Hasil Dan Pembahasan

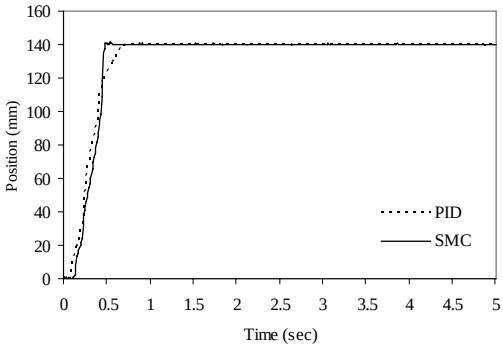
Sistem kendali yang dibuat dalam penelitian ini digunakan untuk mengendalikan pergerakan silinder dalam sistem pneumatik. Dua macam teknik kendali, yaitu PID dan SMC, diaplikasikan dalam sistem *servo pneumatic* untuk membandingkan respon terhadap *settling time* dan *steady state error*-nya. Posisi target ditentukan pada 60 dan 140 mm dari titik awal, dengan waktu pengambilan sampel adalah 0,01 detik.

4.1 Respon Kendali Posisi

Gambar 9 and 10 menunjukkan perbandingan respon kendali posisi dari dua teknik kendali yang berbeda, yaitu PID dan *sliding mode controller* (SMC).



Gambar 9. Respon PID dan SMC untuk posisi target 60 mm



Gambar 10. Respon PID dan SMC untuk posisi target 140 mm

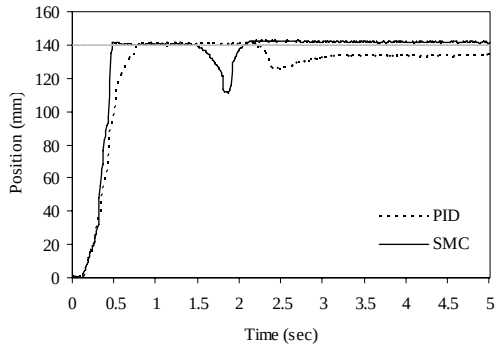
Tabel 1. Perbandingan performa respon PID dan SMC

	60 mm		**140 mm**	
	***Settling time* (detik)**	***Steady state error* (mm)**	***Settling time* (detik)**	***Steady state error* (mm)**
PID	0.38	± 0.39	0.61	± 0.39
SMC	0.33	± 0.39	0.46	± 0.39

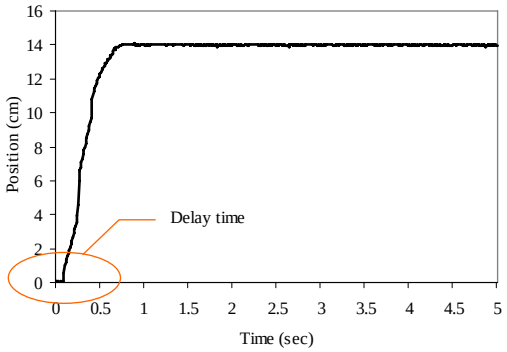
Dari tabel 1 di atas, terlihat bahwa *settling time* dari aplikasi SMC lebih kecil (yang berarti lebih cepat) daripada kendali PID pada kedua target posisi, namun *steady state error* dari kedua teknik kendali tersebut menunjukkan harga yang sama pada kedua target posisi. Hal ini disebabkan karena keterbatasan resolusi dari ADC *(analog to digital converter)* yang digunakan dalam percobaan ini.

4.2 Respon Terhadap Penghalang

Untuk melihat respon dari kedua teknik kendali dalam mengatasi adanya penghalang, suatu gaya dikenakan pada sistem pada saat sistem bekerja. Gambar 4.14 menunjukkan grafik respon kendali PID dan SMC terhadap adanya suatu penghalang.



Gambar 11. Respon PID dan SMC terhadap penghalang



Gambar 12. Waktu tunda pada sistem pneumatik

Perbandingan kuantitatif respon terhadap penghalang dari kedua teknik kendali ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan respon terhadap penghalang

	***Settling time* (detik)**	***Steady state error* (mm)**
PID	0.61	- 7.45
SMC	0.1	+ 1.96

Dalam mengatasi adanya penghalang dalam teknik kendali, sliding mode controller menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID. SMC mempunyai *settling time* yang lebih cepat dan harga *steady state error* yang lebih kecil.

4.3 Waktu Tunda Pada Sistem Pneumatik

Pada semua respon sistem dalam pecobaan ini, ada waktu tunda sebesar 0,12 detik pada pergerakan awal silinder, seperti terlihat pada Gambar 12. Pada saat awal, sistem membutuhkan banyak udara untuk memulai gerakan awal silinder. Ketika sistem dalam posisi berhenti udara dalam silinder, yang masih bertekanan tinggi, menyebabkan silinder

bergerak sedikit. Ketika sinyal keluaran dikirim ke sistem, silinder tidak langsung bergerak sesaat setelah menerima sinyal. Rangkaian akuisisi data membaca posisi aktual sebelum piston bergerak kemudian dikirim ke sinyal keluaran lagi. Waktu tunda yang terjadi ini tidak dapat dihilangkan dari sistem pneumatik karena berasal dari sifat kompresibilitas udara.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, kendali PID dan SMC telah diaplikasikan dalam kendali posisi sistem servo pneumatic, agar silinder dapat bergerak dan berhenti pada posisi yang diinginkan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Perbedaan utama dari teknik kendali PID dan SMC adalah terjadinya chattering pada aplikasi SMC. Chattering ini dapat dihindari dengan menambahkan layar tipis pada batas *sliding surface*, sehingga respon sistem menjadi lebih halus.
2. Dibandingkan dengan kendali PID, SMC menunjukkan performa yang lebih unggul dalam aplikasinya pada sistem servo pneumatic berdasarkan parameter yang diteliti, yaitu *settling time, steady state error,* dan respon terhadap adanya penghalang.
3. Pada implementasi kedua teknik kendali, terdapat waktu tunda sebesar 0,12 detik pada pergerakan awal silinder pneumatik karena sifat kompresibilitas udara.

Daftar Pustaka

[1] Al-Muthairi, N.F. and Zribi, M., 2004. *Sliding Mode Control of a Magnetic Levitation System*. Hindawi Publishing Co.

[2] Åström, Karl Johan and Hägglund, Tore, 1995. *PID Control: Theory, Design, and Tuning.* International Society for Measurement and Con, 2nd edition.

[3] Dorf, Richard C. and Bishop, Robert H., 2001. *Modern Control System*. Prentice Hall International, 9th edition.

[4] Edwards, Christopher and Spurgeon, Sarah K., 1998. *Sliding Mode Control: Theory and Application*. Taylor & Francis.

[5] Furuta, Takayuki and Tomiyama, Ken. *Two Adaptive Robust Sliding Mode Controllers for Robot Manipulator*. JSME Int. J. Dynamics, Control, Robotics, Design and Manufacturing, Vol. 40, No. 1(1997), p. 104.

[6] Gutierrez, Hector M. and Ro, Paul I. *Sliding Mode Control of Nonlinear Input System: Application to a Magnetically Levitated fast Tool Servo*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 6, pp 921-927, December 1998.

[7] Mattavelli, P., Rossetto, L., Spiazzi, G., and Tenti, P. *General Purpose Sliding Mode Controller for DC/DC Converter Application.*

[8] Qi Wang, Qian Tao, Linqi Hou, and Hegao Cai, 1998. On-line Learning Neural Network Controller for Pneumatic Robot Position Control. Proceedings of IEEE International Conference for System, Man and Cybernetics. Available online: http://www.cim.mcgill.ca/~qiwang/publications.html

[9] Renn, Jyh-Chyang, *Position Control of a Pneumatic Servocylinder using Fuzzy Sliding Surface Controller*. https://journal.fluid.power.net/issue8/paper3.html

[10] Slotine, Jean-Jacques E., and Li, Weiping, 1991. *Applied Nonlinear Control*. Prentice Hall.

[11] Song, J. and Ishida, Y., 1997b. *Robust Sliding Mode Control for Pneumatic Servo Systems.* International Journal of Engineering Science, 35, 8, 711-723.

[12] Yong, Yang, Wenmei, Huang, and Rydberg, Karl-Erik. *Fuzzy variable structure control with a harmonizing mechanism and its application on an electro-hydraulic servo system.*