

Analisa Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali Hybrid SMC dan Pid dengan Metode Heuristik

Dian Mursyitah.¹, Adril²

^{1,2} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: dmursyitah@uin-suska.ac.id, adril1994@yahoo.com

(Received: 19 Oktober 2016; Revised: 30 Desember 2016; Accepted: 30 Desember 2016)

ABSTRAK

Sliding Mode Control (SMC) merupakan pengendali yang terkenal akan kekokohnya terhadap gangguan. Namun, SMC memiliki kelemahan yaitu chattering. Chattering dapat menyebabkan Error Steady State (Ess) yang besar dan dapat mengganggu performansi sistem. Pemmasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menambahkan pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID) yang mampu menurunkan error steady state menjadi minimum. Pengkombinasian kedua pengendali (hybrid) dapat meningkatkan kemampuan masing-masing pengendali. Berdasarkan hasil simulasi, pengendalian kecepatan menggunakan pengendali hybrid SMC dan PID pada sistem motor DC diperoleh performansi yang baik. Terbukti dengan tercapainya setpoint, kekokohan teruji terhadap variasi gangguan dengan error steady state yang minimum, dan kestabilan yang terjaga dengan respon waktu yang cepat yaitu $\tau = 0.0657$ detik dan $e_{ss} = 20.1\%$.

Kata Kunci: Motor DC, Sliding Mode Controller (SMC), PID

ABSTRACT

Sliding Mode Control (SMC) is a controller known for its robustness against disturbances. However, SMC has the disadvantage which is chattering. Chattering can cause large steady-state error (Ess) and interference system performance. Those problems can be solved by adding a controller Proportional Integral Derivative (PID) which can reduce steady-state error to a minimum. Combining both controllers (hybrid) can enhance the capabilities of each controller. Based on simulation results, controlling speed of DC Motor system using hybrid SMC and PID controllers obtained good performance. Proven by the achievement of setpoint, robustness to variation disruption achieved by the minimum steady-state error and stability are maintained with a fast response time is $\tau = 0.0657$ second and $e_{ss} = 20.1\%$.

Keywords: DC Motor, Hybrid, SMC, PID

Corresponding Author:

Dian Mursyitah

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
Email: dmursyitah@uin-suska.ac.id

Pendahuluan

Pada Motor DC diperlukan pengendali yang mampu tetap kokoh walaupun terdapat beban dan gangguan baik eksternal maupun internal. Salah satu pengendali yang terkenal dengan kekokohnya adalah kendali Sliding Mode Control (SMC). Metoda SMC memberikan sebuah hukum kendali yang diskontinue yang dapat menimbulkan fenomena osilasi (chattering). [1][3] Permasalahan chattering pada SMC tidak dapat

dihilangkan karena berakibat pada kestabilan sistem, namun chattering yang timbul dapat direduksi menggunakan salah satu hukum pandu pendekatan yang continue, yaitu mengganti fungsi Signum (Sgn) menjadi fungsi Saturasi (Sat). [1][3]

Fenomena osilasi (chattering) dapat mengakibatkan error steady state pada sistem walaupun telah direduksi. Chattering yang dapat mengakibatkan error steady state dapat diatasi oleh PID karena terdapat kendali integral di dalamnya karena keunggulan aksi integral menghilangkan

atau memperkecil *error steady state* .[1]

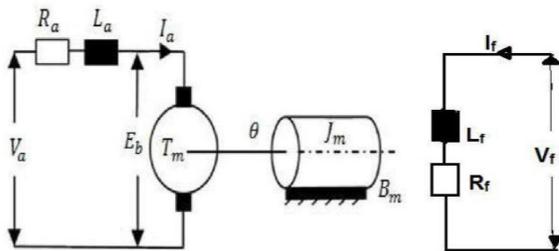
Metode yang dapat digunakan pada penalaan PID adalah metode heuristik. Penalaan metode heuristik mempunyai keunggulan pada tekniknya yang sederhana dalam penalaan PID dan hasil yang diperoleh cukup memuaskan. [1][4][5]. Sehingga penelitian tentang Motor DC yang dapat menghasilkan keluaran sistem yang terbaik dilakukan menggunakan pengendali *hybrid Sliding Mode Control* (SMC) dan *Proportional Integral Derivative* (PID) dengan metode Heuristik.

Metode Penelitian

Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, pengujian model matematis sistem motor DC, kemudian dilanjutkan dengan perancangan pengendali SMC dan PID, langkah selanjutnya adalah mensimulasikan model matematis sistem bersama hasil rancangan pengendali.

Pemodelan Matematis Sistem Motor DC

Pemodelan matematis sistem motor DC dilakukan dengan cara menurunkan persamaan berdasarkan hukum-hukum fisika yang diilustrasikan pada Gambar 1



Gambar 1. Rangkaian Motor DC[2]

Komponen elektrik yang merupakan kumparan jangkar terdiri atas tahanan dan induktansi jangkar, maka persamaan diferensial pada rangkaian jangkar berdasarkan hukum Kirchoof dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_a(s) = i_a R_a(s) + sL_a I_a(s) + K_b \omega(s) \quad (1)$$

Pada bagian mekanik motor DC, terdapat persamaan kesetimbangan torsi motor dengan beban. sehingga persamaan torsi motor T_m dapat ditulis sebagai berikut:

$$K_T I_a(s) = sJ\omega(s) + T_L \omega(s) \quad (2)$$

Maka untuk mendapatkan fungsi alih dari sistem motor DC yaitu $G(s) = \frac{\omega(s)}{V_a(s)}$, maka persamaan Laplace (2.1) disubstitusikan kedalam persamaan Laplace (2.2), sehingga persamaan fungsi alih untuk motor DC menjadi:

$$G(s) = \frac{K_T}{s^2 + s(L_a T_L + J R_a) + (R_a T_L + K_b K_T)} \quad (3)$$

Dimana:

- V_a = Tegangan Masukan (Volt),
- K_T = Konstanta Torsi (Nm/A),
- J = Momen Inersia Ekvivalen (Kgm^2),
- L_a = Induktansi kumparan jangkar (H),
- T_L = Torka Beban (Nm),
- ω = Kecepatan motor (rad/s),
- R_a = Tahanan Jangkar (Ω),
- K_b = Konstanta EMF balik (V/s.rad),
- I_a = Arus kumparan jangkar (A).

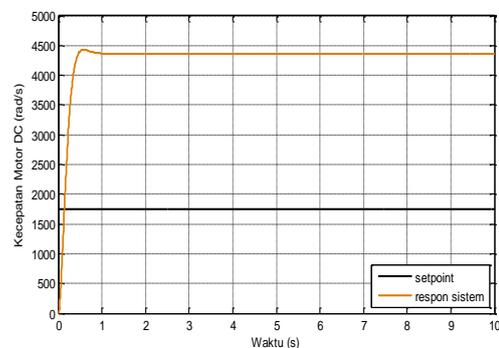
Pada rancangan ini motor DC yang digunakan adalah type PITMAN Series GM 14900 type 1, dimana spesifikasi motor yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Motor DC[2]

No	Parameter motor DC	Nilai
1	No-Load Speed	4230 rad/s
2	No-Loas Current	0,20 A
3	Tegangan Jangkar (V_a)	240 V
4	Konstanta Aplifier (K_A)	10 N-m/A
5	Konstanta Torsi Motor (K_T)	9,46 Nm/A
6	Back-EMF Konstan (K_b)	6,99 (V/krad/s)
7	Torka Beban (T_L)	3,53 Nm
8	Momen Inersia (J)	$1,13 \times 10^{-3} g/m^2$
9	Induksi Jangkar (L_a)	4,10 mH
10	Resistansi (R_a)	4,45 ohm

Parameter yang terdapat pada Tabel 1, disubstitusikan ke persamaan 3, sehingga diperoleh fungsi alih sistem motor DC seperti ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{204.18}{s^2 + 14.523s + 81.833} \quad (4)$$



Gambar 2. Output Sistem Motor DC secara *Open Loop*

Cambar 2 menunjukkan hasil simulasi sistem Motor Dc sebelum dipasang pengendali. Berdasarkan Gambar 2 tersebut dapat dilihat respon kecepatan tidak mencapai setpoint yang diberikan.

Perancangan Pengendali Hybrid Sliding Mode Controller dan PID

Perancangan pengendali SMC

Berdasarkan persamaan (4) dimisalkan :

$$G(s) = \frac{c}{s^2 + sa + b}$$

dengan:

$$a = 14.523 ; b = 81.833 ; c = 204.18$$

Kemudian direpresentasikan dalam bentuk persamaan diferensial (dengan asumsi bahwa semua nilai awal adalah nol) [5], maka persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\ddot{\omega} + a\dot{\omega} + b\omega = cu$$

$$\dot{\omega} = -a\dot{\omega} - b\omega + cu$$

Kemudian, ambil sinyal *error* sebagai variabel *state*:

$$x_1 = e$$

$$\dot{x}_1 = \dot{e} = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{e}$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$e = r - \omega$$

$$x_1 = r - \omega$$

$$\omega = r - x_1$$

Karena *setpoint* tetap (permasalahan *reference*), maka:

$$\dot{x}_1 = x_2 = -\dot{\omega}$$

$$\dot{x}_2 = -\ddot{\omega}$$

maka didapatkan persamaan:

$$\dot{x}_2 = -ax_2 - bx_1 + br - cu$$

Sehingga didapatkan persamaan state-space:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -c \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ br \end{bmatrix}$$

Maka akan dapat dicari sinyal kontrol dengan asumsi bahwa sinyal kendali natural adalah nol, sehingga:

$$u_{eq} = \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br)$$

Setelah didapat sinyal kendali ekivalen maka dapat ditemukan sinyal kendali natural:

$$\dot{\sigma}(x) = x_2 - ax_2 - bx_1 + br - cu_{eq} - cu_N$$

$$\dot{\sigma}(x) = -cu_N$$

Berdasarkan analisa kestabilan *Lyapunov*:

$$S\dot{S} \leq -\eta|S|$$

maka dipilih:

$$\dot{\sigma}(x) = -\eta \text{sign}(\sigma(x))$$

Dimana $\eta > 0$ (Suatu konstanta positif) sehingga persamaan menjadi:

$$u_N = \frac{1}{c} \eta \text{sign}(\sigma(x))$$

Dengan demikian didapat untuk sinyal kendali total adalah sebagai berikut:

$$u = u_{eq} + u_N$$

$$u = \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \text{sign}(\sigma(x))$$

Fungsi diskontinyu *signum* diubah menjadi fungsi kontinyu saturasi. Sehingga persamaan menjadi:

$$u = \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \text{sat}(\sigma(x))$$

Perancangan Pengendali PID

Sinyal kendali untuk pengendali PID ditunjukkan pada persamaan berikut

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}$$

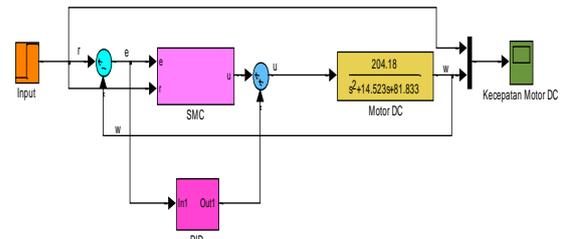
Sehingga untuk sinyal kendali SMC dan PID dapat ditulis sebagai berikut :

$$u = \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \text{sat}(\sigma(x))$$

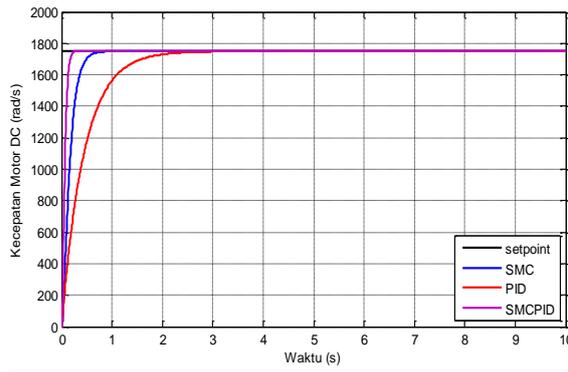
$$+ K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}$$

Simulasi Hasil Perancangan Sistem Motor Dc dengan Pengendali Hybrid SMC dan PID

Program Simulasi Hybrid SMC dan PID ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil Simulasi ditunjukkan pada Gambar 4

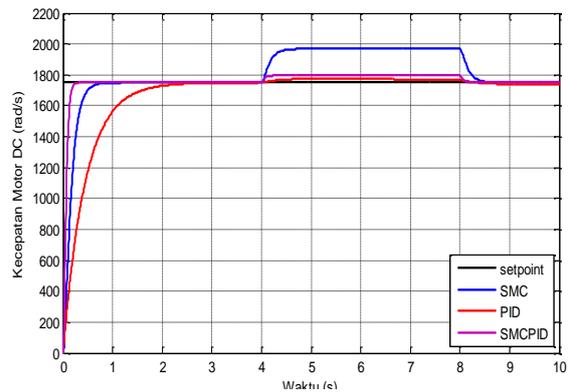


Gambar 3. Program Simulasi Hybrid SMC dan PID



Gambar 4. Respon Sistem Menggunakan Pengendali SMC, PID dan Hybrid SMC dan PID dalam Mencapai Set point

Berdasarkan Hasil Simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 4 diperoleh hasil respon kecepatan motor DC berhasil menjejak Setpoint yang diberikan yaitu sebesar 1750 Rpm Kemudian Simulasi juga dilakukan dengan menambahkan gangguan pada sinyal kendali sebesar 10% pada detik ke 4 hingga detik ke 8. Hasil simulasi respon sistem dalam mengatasi gangguan pada sinyal kendali dapat dilihat pada gambar 5 :



Gambar 5. Respon Sistem dengan pengendali SMC, PID dan hybrid SMC dan PID dalam Mengatasi Gangguan Sinyal Kendali pada detik ke 4-8.

Hasil dan Pembahasan

Simulasi dilakukan dengan memberikan nilai $\eta = 100$ pada SMC, dan parameter PID masing – masing adalah $K_p = 5.5$; $K_i = 0.89$; $K_d = 2.39$. Simulasi dilakukan dalam waktu 10 detik. Hasil analisa respon dalam pencapaian setpoint ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa respon pengendalian kecepatan Motor DC dalam pencapaian setpoint.

Analisa Respon	Pengendali SMC	Pengendali PID	Hybrid SMC dan PID
τ	0.1772 detik	0.4419 detik	0.0657 detik
t_s	0.8860 detik	2.2095 detik	0.3285 detik
t_r	0.5209 detik	1.3168 detik	0.1931 detik
t_d	0.4394 detik	1.0959 detik	0.1629 detik
e_{ss}	0	1	0

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan pengendali Hybrid SMC dan PID memiliki respon time lebih cepat dengan error steady state minimum. Kemudian Simulasi dilakukan dengan menambahkan gangguan pada sinyal kendali sebesar 10% pada detik ke 4 hingga detik ke 8. Hal ini dilakukan untuk mengetahui penurunan error steady state sebagai dampak penambahan PID pada SMC. Hasil analisa simulasi respon sistem dalam mengatasi gangguan pada sinyal kendali ditunjuk pada Tabel 3.

Tabel 3. Gabungan Analisa Respon Sistem dengan Gangguan pada masing-masing sinyal kendali

Analisa Respon	Pengendali SMC	Pengendali PID	Hybrid SMC dan PID
τ	0.1772 detik	0.4419 detik	0.0657 detik
t_s	0.8860 detik	2.2095 detik	0.3285 detik
t_r	0.5209 detik	1.3168 detik	0.1931 detik
t_d	0.4394 detik	1.0959 detik	0.1629 detik
e_{ss}	218	24	44

Kesimpulan

Motor DC menggunakan pengendali hybrid SMC dan PID menunjukkan performasi yang paling baik. Hal ini terbukti dari hasil visualisasi dan analitik yang dilakukan. Setpoint yang diberikan berhasil dicapai, dan gangguan yang diberikan juga berhasil diatasi. Penambahan PID dengan parameter $K_p = 5.5$; $K_i = 0.89$; $K_d = 2.39$ dengan metode heuristik terhadap pengendali SMC dengan nilai $\eta = 100$ berhasil menurunkan error steady state yang terjadi pada pengendalian kecepatan Motor DC dari

100% menjadi 20.1% dengan respon waktu paling minimum yaitu $\tau = 0.0657$ detik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada mahasiswa : Adril yang telah membantu melaksanakan penelitian ini

Daftar Pustaka

- [1] D. Mursyitah (2013).” Simulasi Decouple Sliding Mode Dengan Permukaan Luncur Proporsional Dan Integral Pada Sistem Non Linier Multivariabel Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)”. Institut Teknologi Sepuluh November, Tesis TE-092099
- [2] Pittman. (2013). *Buletin motor DC catalog GM 14900 type 1*.
- [3] W.L. Slotine. (1991). “*Applied Nonlinear Control*”. Prentice Hall. 1991
- [4] Faisal A.(2014). Pengendalian *Level Coupled Tank* Menggunakan Metode *Sliding Mode Control (SMC) Hybrid Proportional Integral Derivative (PID)* Di *Simulink Matlab*
- [5] J. M. Acob.(2013). ” *Hybrid PD Sliding Mode Control of a Two Degreeof-Freedom Parallel Robotic Manipulator*” 10th IEEE *International Conference on Control and Automation (ICCA)* Hangzhou, China, June 12-14