

Perancangan Pengendali Hybrid PID Gain Scheduling dan Sliding Mode Control Untuk Pengendalian Level

Dian Mursyitah¹

¹ Jurusan Teknik Industri, 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

ABSTRAK

Pengukuran tinggi permukaan cairan (*level*) dalam bejana, tabung dan tangki sering kali dijumpai di dunia industri. Permasalahan yang terjadi pada pengendalian level adalah suplai laju aliran yang tidak stabil mengakibatkan respon waktu pencapaian level yang diinginkan menjadi lambat, terlebih lagi saat perubahan *setpoint level*. Permasalahan ini diselesaikan dengan perancangan pengendali PID yang dikombinasikan dengan Gain Scheduling. Kombinasi PID dan Gain Scheduling mampu menyelesaikan persoalan pencapaian setpoint. Namun, pencapaian setpoint memerlukan waktu yang lama selain itu ketika terjadi gangguan PID Gain scheduling belum mampu menangani dengan kokoh. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, dipilih pengendali *sliding mode control* (SMC) untuk menangani persoalan respon waktu. Hasil simulasi menunjukkan, bahwa kombinasi pengendali *hybrid PID gain scheduling* dan *sliding mode control* mampu mencapai *set point* dengan waktu yang cepat. Pengujian tersebut didapat hasil dari tiga perubahan setpoint level yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dengan nilai *rise time* yang diperoleh berurutan yaitu 225,1138 detik, 439,5982 detik, 413,3095 dan 537,1012 detik dari total waktu simulasi sebesar 2500 detik.

Kata Kunci: Level, SMC, Rise Time

ABSTRACT

Measurements of liquid level in vessels, tubes and tanks are often encountered in the industrial world. The problem that occurs at level control is unstable flow rate supply cause response time achievement of desired level to be slow, even more when setpoint level change. This problem is solved by designing a PID controller combined with Gain Scheduling. The combination of PID and Gain Scheduling solves the problem of achieving the setpoint. However, achieving setpoints takes a long time Also when disturbances occur pid gain scheduling has not been able to handle it firmly. To solve the problem, a sliding mode control (SMC) controller is selected to handle time response issues. The simulation results show that the combination of hybrid controller PID gain scheduling and sliding mode control able to reach set point with fast time. The test results obtained from three setpoint level changes of 25%, 50%, 75%, and 100%. With the rise time value obtained sequentially that is 225.1138 seconds, 439.5982 seconds, 413,3095 and 537,1012 seconds of the total simulation time of 2500 seconds

Keywords: Level, SMC, Rise Time

Corresponding Author:

Dian Mursyitah¹

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau,

Email: dmursyitah@uin-suska.ac.id

Pendahuluan

Pengukuran tinggi permukaan cairan (*level*) dalam bejana, tabung dan tangki sering kali dijumpai di dunia industri. Diketahui jika *level* cairan terlalu rendah maka tangki akan kosong, tangki yang kosong dengan temperatur tinggi dapat berakibat fatal dan bila dibiarkan begitu saja maka proses tidak akan bekerja. Sebaliknya jika *level* cairan terlalu tinggi maka cairan akan meluap sehingga dapat merusak alat-alat lainnya. Dalam mengukur parameter *level* dibutuhkan kondisi atau persyaratan khusus. Misalnya ketelitian yang tinggi, harga yang konstan untuk selang waktu

yang tertentu, perbandingan yang tetap antara dua variabel, atau suatu besaran sebagai fungsi dari besaran lainnya. Hal ini tidak cukup dengan melakukan pengukuran saja, tetapi juga memerlukan suatu cara pengendalian agar kondisi tersebut dapat terpenuhi [1][6].

Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, terutama pada bidang elektronika dan sistem kendali. Banyak bermunculan aplikasi-aplikasi kendali baik melalui *interface computer* maupun dalam bentuk modul-modul rangkaian. Salah satu contoh modul rangkaian untuk aplikasi kendali melalui *interface* komputer

adalah proses Control Technology (PCT) - 100. Proses Control Technology (PCT) - 100 merupakan modul *training* kendali proses yang dilengkapi dengan beberapa komponen yaitu sensor dan aktuator untuk aplikasi dari suatu proses.[1][2]. Pada sistem PCT-100 parameter yang bisa dikendalikan adalah *level*, *temperature*, *flow* dan *pressure*. Dengan banyaknya parameter yang dapat dikendalikan pada PCT-100 membuat modul ini menjadi sistem dengan sifat yang non-linier. Pengendalian level pada sistem PCT - 100 telah menjadi topik penelitian yang dilakukan oleh Rachmad Dwi Raharjo, dkk.

Rachmad Dwi Raharjo, dkk, dilakukan simulasi untuk pengendalian *level* menggunakan PID *Gain Scheduling*[1]. Diketahui dari hasil penelitiannya terdapat kelemahan pada respon kerja yang lambat saat perubahan *level*, dimana dengan waktu simulasi 2500 detik *rise time* yang dihasilkan sangat lambat. Pada kondisi ketinggian 25% *rise time* tercapai pada waktu 2327,59 detik, untuk ketinggian 50% *rise time* tercapai di 1240,97 detik, untuk ketinggian 75% *rise time* terjadi pada detik ke 790,99, dan kondisi ketinggian 100% *rise time* terjadi pada detik ke 600,77. Kekokohan belum mampu diatasi dengan baik ketika terjadi gangguan. Untuk mempercepat *rise time* dan menangani persoalan kekokohan ketika terjadi gangguan maka dipilih pengendali *Sliding Mode Control* (SMC).

Berdasarkan literatur review diketahui bahwa *sliding mode control* merupakan pengendali yang mampu mempercepat respon system dan merupakan pengendali yang kokoh terhadap gangguan. Hal ini dibuktikan pada beberapa penelitian diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Dian Mursyitah, yang mengendalikan *level* pada *coupled tank* menggunakan pengendali *sliding mode*. Dari penelitian ilham ahmad diperoleh informasi bahwa SMC mampu membuat respon *rise time* menjadi cepat mencapai *rise time* 5,15s pada tangki satu dan 2,6s pada tangki dua dengan waktu simulasi 100 detik, selain itu kestabilan dan kekokohan tercapai dibuktikan dengan kinerja kestabilan *lyapunov* yang terpenuhi [7].

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Okky yang membahas tentang perancangan dan implementasi pengendali *sliding mode* untuk pengendalian *level* pada *coupled tank*. Berdasarkan hasil pengujian sistem dengan pengendali *sliding mode* kekokohan dapat diatasi dengan pengujian gangguan perubahan beban yang diberikan. Pengendali *sliding mode* juga mampu mempertahankan *level* pada *set point*, dan kecepatan respon juga sangat baik. Hal ini ditunjukkan dengan pencapaian *rise time* yang

cukup cepat yaitu sebesar 35,46s dari 150 detik waktu simulasi [8].

Penelitian selanjutnya membahas tentang pengendalian *level* pada *coupled tank* menggunakan pengendali *Hybrid SMC* dan PID yang dilakukan oleh Ahmad Faizal. Diketahui bahwa pengujian pengendali SMC *hybrid* PID dalam mengendalikan *level* menghasilkan respon transien cepat. Dibuktikan dari hasil simulasi respon transien yang dihasilkan adalah nilai *settling time* (t_s) = 0,2 detik, *rise time* (t_r) = 0,071 detik, *delay time* (t_d) = 0,04 detik, dan *error steady state* (e_{ss}) = 0,01% dari 10 detik waktu simulasi. Gangguan yang diberikan dapat diatasi dengan baik dan membuktikan pengendali SMC berhasil mempertahankan kekokohnya [9]. Berdasarkan literatur review PID gain Scheduling akan dikombinasikan dengan SMC untuk mempercepat *rise time* dan mempertahankan kekokohan ketika terjadi gangguan.

Metode Penelitian

Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, pengujian mode matematis modul rangkaian PCT-100, kemudian dilanjutkan dengan perancangan pengendali PID Gain Scheduling dan SMC, dilanjutkan dengan analisa, dan terakhir diambil kesimpulan.

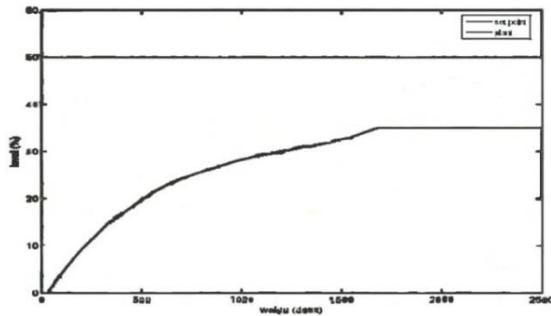
Pemodelan Matematis Modul Rangkaian PCT-100

Pemodelan matematis modul rangkaian PCT-100 dirujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rachmad Dwi Rahardjo. Pada penelitiannya model matematis diperoleh menggunakan indentifikasi real plant dengan pendekatan metode Harriot.[1][3]. Modul rangkaian PCT-100 ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar. 1 Modul Rangkaian PCT-100[1][2]

Grafik real plant yang ditunjukkan oleh modeul rangkaian PCT-100 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Respon real *plant* proses level pada PCT-100 [1][2]

Berdasarkan Gambar 2 dilakukan perhitungan pendekatan model matematis metode Harriot yang ditunjukkan pada persamaan (1)

$$G_H(s) = \frac{K}{(\tau_{H1}+1)(\tau_{H2}^2+1)} e^{-\tau_{dH}s} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan fungsi alih sistem, respon *plant* yang digunakan adalah respon saat *set point* 50%. Dari hasil respon *level* pada saat *set point* 50% didapatkan nilai keluaran *steady state* pada ketinggian 34,97. Nilai tersebut diperoleh dari rata-rata seluruh data keluaran *steady state*. Berdasarkan respon pada Gambar 2 diperoleh *gain overall* respon pada persamaan (2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_{ss} &= 34,97 \\ X_{ss} &= 50 \\ K &= \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \\ &= \frac{34,97}{50} \\ &= 0,6994 \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk mendapat nilai $\tau_{dH}, \tau_{H1} + \tau_{H2}$ sesuai persamaan (1) perlu diperoleh nilai berikut :

$$\begin{aligned} t_{33} &= 254,8 \text{ detik} \\ t_{70} &= 712,9 \text{ detik} \\ t_{73} &= 788,6 \text{ detik} \end{aligned}$$

sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \tau_{H1} + \tau_{H2} &= \frac{t_{73}}{1.3} \\ \tau_{H1} + \tau_{H2} &= \frac{788,6}{1.3} = 606,62s \end{aligned} \quad (3)$$

dan didapatkan:

$$t_i = \frac{606,62}{2} = 303,31s \quad (4)$$

Sehingga didapatkan nilai y_i dari t_i dimana $y_i = 13,4$ dan dapat ditentukan $y_i/y_{ss} = 0,383$

selanjutnya didapatkan nilai dari persamaan $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ yaitu 0,96.

Subtitusikan nilai $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1} + \tau_{H2}}$ sehingga didapatkan nilai τ_{H1} dan τ_{H2} menjadi:

$$\tau_{H1} = \tau_{H1} + \tau_{H2} \times 0,96 \quad (5)$$

$$\tau_{H1} = 606,62 \times 0,96 = 582,35s$$

$$\tau_{H2} = (\tau_{H1} + \tau_{H2}) - \tau_{H1} \quad (6)$$

$$\tau_{H2} = 606,62 - 582,35 = 24,27s$$

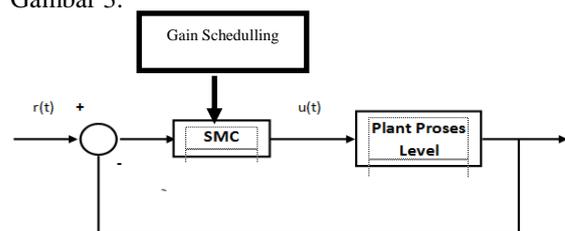
Sehingga didapatkan fungsi alih *plant* proses *level*:

$$G_H(s) = \frac{0.6994}{(582.35s + 1) + (24.27s + 1)}$$

$$G_H(s) = \frac{0.6994}{14133,63s^2 + 606.62s + 1} \quad (7)$$

Perancangan Pengendali PID Gain Scheduling

Diagram blok perancangan ditunjukkan pada Gambar 3.



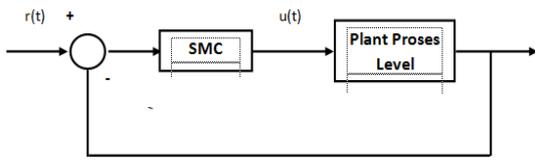
Gambar 3. Diagram Blok PID gain Scheduling Nilai PID *Gain Scheduling* dimana nilai operasi ini dibagi menjadi empat kondisi nilai masukan yang berbeda-beda. Nilai operasi ini dibuat dalam bentuk tabel, dimana tabel tersebut terdapat nilai k_p , k_i , dan k_d .

Tabel 1. Parameter Pengendali PID *Gain Scheduling* pada kondisi berbeda [1]

No	Kondisi <i>set point</i> (SP) <i>level</i>	k_p	k_i	k_d
1	25%	1,083	0,0018	19,79
2	50%	2,167	0,0036	39,60
3	75%	3,254	0,0054	59,46
4	100%	4,337	0,0071	79,25

Perancangan pengendali SMC

Diagram blok perancangan pengendali SMC ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Pengendali SMC

Fungsi transfer *plant proses level* dari persamaan (4) akan dimisalkan menjadi fungsi transfer koefisien numerator dan denominator dimisalkan menjadi variabel yang bernilai tetap. Maka fungsi transfer plant akan menjadi:

$$G(s) = \frac{c}{s^2 + sa + b} \quad (6)$$

Misalkan:

$$a = 606,62 ; b = 1 ; c = 0,6994$$

kemudian direpresentasikan dalam bentuk persamaan diferensial (dengan asumsi bahwa semua nilai adalah nol), maka persamaanya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ddot{\omega} + a\dot{\omega} + b\omega &= cu \\ \ddot{\omega} &= -a\dot{\omega} - b\omega + cu \end{aligned} \quad (7)$$

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

$$x_1 = e$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \dot{e} = x_2 \\ \dot{x}_2 &= \ddot{e} \end{aligned}$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$\begin{aligned} e &= r - \omega \\ x_1 &= r - \omega \\ w &= r - x_1 \end{aligned} \quad (8)$$

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

$$\dot{x}_1 = x_2 = -\dot{\omega} \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = -\ddot{\omega} \quad (10)$$

Dengan substitusikan persamaan (7), (8) dan (9) pada persamaan (10), sehingga:

$$\begin{aligned} -\dot{x}_2 &= -a(-\dot{x}_1) - b(r - x_1) + cu \\ -\dot{x}_2 &= ax_2 + bx_1 - br + cu \\ \dot{x}_2 &= -ax_2 - bx_1 + br - cu \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan persamaan state-space:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -c \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ br \end{bmatrix} \quad (11)$$

Didefinisikan suatu permukaan luncur:

$$\dot{\sigma}(x) = 0$$

$$S\dot{x} = 0$$

$$S(\dot{x}_1 + \dot{x}_2) = 0$$

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

$$\begin{aligned} x_2 - ax_2 - bx_1 + br - cu_{eq} &= 0 \\ cu_{eq} &= x_2 - bx_1 - ax_2 + br \\ u_{eq} &= \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br) \end{aligned} \quad (12)$$

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

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

$$\dot{\sigma}x = x_2 - ax_2 - bx_1 + br - c\frac{1}{c}1 - ax_2 - bx_1 + br - cu_N$$

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}x &= x_2 - ax_2 - bx_1 + br - x_2 + ax_2 + bx_1 - br - cu_N \\ \dot{\sigma}x &= -cu_N \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa kestabilan Lyapunov:

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

maka dipilih:

$$\dot{\sigma}x = -\eta \text{sign} \sigma x \quad (13)$$

Dimana $\eta > 0$ (Suatu konstanta positif) sehingga persamaan (13) menjadi:

$$\begin{aligned} -cu_N &= -\eta \text{sign} \sigma x \\ u_N &= \frac{1}{c} \eta \text{sign} \sigma x \end{aligned} \quad (14)$$

Dengan demikian didapat untuk sinyal kendali total adalah sebagai berikut:

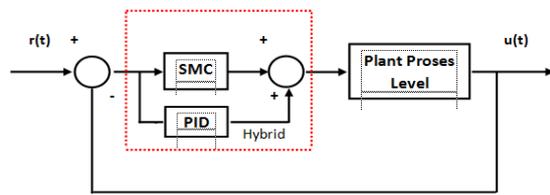
$$\begin{aligned} u &= u_{eq} + u_N \\ u &= \frac{1}{c} 1 - ax_2 - bx_1 + br + \frac{1}{c} \eta \text{sign} \sigma x \end{aligned} \quad (15)$$

Fungsi diskontinyu *signum* diubah menjadi fungsi kontinyu saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan permasalahan *chattering* pada pengendali *sliding mode*. Sehingga persamaan (15) menjadi:

$$u = \frac{1}{c} 1 - ax_2 - bx_1 + \frac{1}{c} \eta \text{sat} \sigma x$$

Perancangan hybrid PID Gain Scheduling dan SMC

Diagram blok perancangan pengendali hybrid PID Gain Scheduling dan SMC ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Diagram blok pengendali Hybrid PID Gain Scheduling dan SMC

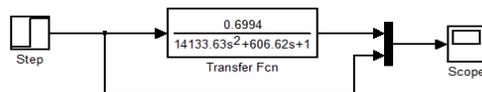
Adapun model matematis perancangan pengendali ditunjukkan pada persamaan (16)

$$u = \frac{1}{c}((1-a)x_2 - bx_1 + br) + \frac{1}{c} \eta \text{sat}(\sigma(x)) + k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de}{dt} \dots \dots \dots (16)$$

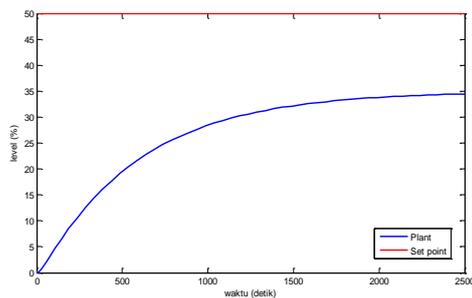
Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan pengujian sistem secara open lup

Pengujian secara open lup dilakukan untuk mevalidasi pemodelan matematis. Berdasarkan persamaan (7) ditransformasikan ke dalam bentuk program seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pengujian secara open lup menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 5. Program Simulink dalam pengujian sistem secara Open lup



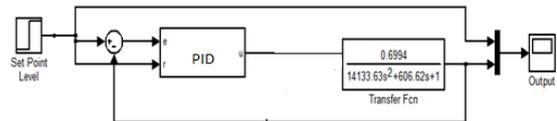
Gambar 6. Respon sistem secara open lup

Berdasarkan hasil grafik Gambar 6 ditunjukkan bahwa respon sistem telah mendekati sistem real plant seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini menunjukkan bahwa model matematis sistem yang diperoleh dengan metode Harriot telah dinyatakan valid. Namun, sistem belum menunjukkan respon yang baik ditunjukkan

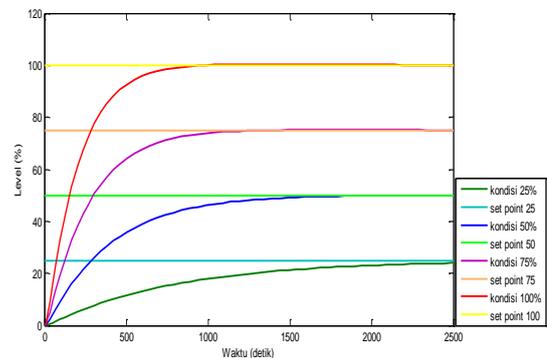
dengan belum tercapainya setpoint, error yang besar, dan respon time yang lambat.

Hasil dan pembahasan pengujian sistem dengan pengendali PID Gain Scheduling.

Bentuk program simulasi sebagai ditunjukkan pada Gambar 7 dengan hasil simulasi pada Gambar 8.



Gambar 7. Program Simulasi dengan Pengendali PID Gain Scheduling

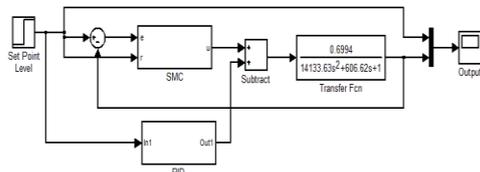


Gambar 8. Hasil Respon dengan PID Gain Scheduling dengan perubahan empat setpoint berbeda

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan hasil respon pengendalian level menggunakan pengendali PID Gain Scheduling untuk 4 perubahan setpoint berbeda, yaitu 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil simulasi menunjukkan setpoint tercapai namun waktu pencapaian setpoint (rise time) masih lambat, perubahan setpoint sebagai gangguan menunjukkan kelemahan ketika ketinggian level permukaan cairan diperbesar. Hal ini menunjukkan PID Gain Scheduling belum mampu menangani persoalan gangguan berupa perubahan level permukaan cairan.

Hasil dan pembahasan pengujian sistem dengan pengendali PID Gain Scheduling dan SMC.

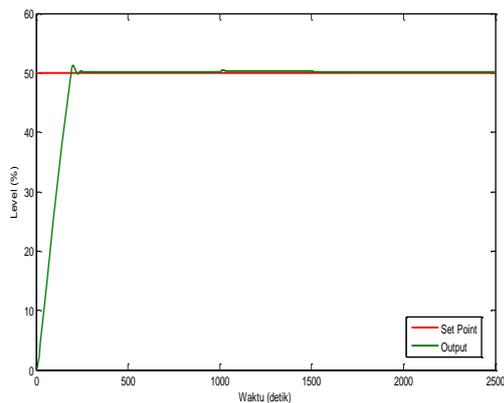
Berdasarkan persamaan (16) ditransformasikan ke dalam bentuk program ditunjukkan pada Gambar 9. Kemudian pengujian juga dilakukan dengan memberikan gangguan berupa perubahan level permukaan cairan sebanyak empat kali yaitu 25%, 50%, 75% dan 100%. Selanjutnya gangguan juga diberikan sebesar 10% kepada sinyal masukan, dan diberikan pada detik ke 100 sampai ke detik ke 150. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 10,11,12,13



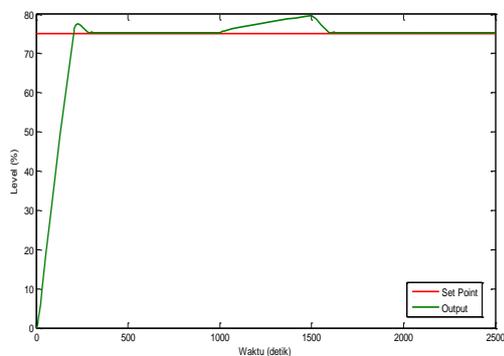
Gambar 9. Program Simulasi dengan Pengendali PID Gain Scheduling dan SMC

nilai parameter dari nilai η (eta) dicari secara *heuristic* sampai ditemukan nilai yang paling baik. Hasil grafik tidak dapat ditunjukkan dalam satu grafik dikarenakan kompleksitas program pengendali yang dibuat sehingga menimbulkan error.

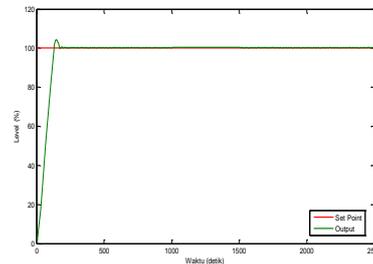
Gambar 10. Grafik respon terhadap Gangguan 10% dari sinyal masukan dengan menggunakan Pengendali *Hybrid PID Gain Scheduling* dan *Sliding Mode Control* pada saat level 25%



Gambar 11. Grafik respon terhadap Gangguan 10% dari sinyal masukan dengan menggunakan Pengendali *Hybrid PID Gain Scheduling* dan *Sliding Mode Control* pada saat level 50%



Gambar 12. Grafik respon terhadap Gangguan 10% dari sinyal masukan dengan menggunakan Pengendali *Hybrid PID Gain Scheduling* dan *Sliding Mode Control* pada saat level 75%



Gambar 10. Grafik respon terhadap Gangguan 10% dari sinyal masukan dengan menggunakan Pengendali *Hybrid PID Gain Scheduling* dan *Sliding Mode Control* pada saat level 100%

Berdasarkan Hasil pengujian, maka respon yang didapat menghasilkan karakteristik yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa respon menggunakan pengendali hybrid PID Gain Scheduling dan SMC

Analisa Respon	25%	50%	75%	100%
t_r	76,4539s	149,2978s	140,4035s	182,4121s
$t_r (5\% - 95\%)$	225,1138s	439,5982s	413,4095s	537,1012s
ess	0,3634	0,3858	4,6247	0,3508

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Perancangan pengendali *hybrid PID gain scheduling* dan *sliding mode control* untuk pengendalian level pada PCT – 100 telah dilakukan. Berdasarkan hasil dan analisa, maka didapatkan bahwa dari kombinasi pengendali *hybrid PID gain scheduling* dan *sliding mode control* mampu mencapai *set point* dengan waktu yang cepat pada PCT -100. Dapat dibuktikan berdasarkan nilai rise timen yang diperoleh secara berurutan untuk kondisi level 25%, 50%, 75% dan 100% 225,1138 detik, 439,5982 detik, 413,4095 detik dan 537,1012 detik. Kekokohan dapat diatasi dengan baik terbukti dari hasil pengujian terhadap gangguan yang diberikan. Gangguan yang diberikan pada detik ke 100 sampai 150 berhasil diatasi sehingga hanya terganggu pada rentang detik tersebut dan mampu kembali pada setpoint dengan

waktu yang cepat. gangguan yang terjadi menimbulkan error steady state, namun error steady state yang terjadi masih dalam batas toleransi yaitu 2%-5% dari setpoint.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada mahasiswa atas nama Rahmat Ridwan yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Rachmad Dwi Raharjo, dkk. "Desain dan Implementasi Kontroler PID Gain Scheduling untuk Sistem Pengaturan Proses Level pada proses Control Technology – 100". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 2012
- [2] Bytronic Educational Technology, manual Proses Control Technology PCT-100, Inggris. 2010
- [3] Ing. Pavel Jakoubek, "experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Methods". *Konference Studentske tvorci cinnosti*, 2009.
- [6] Ahmad Shafi Mukhatir, dkk. "Aplikasi Kendali PID Menggunakan Skema Gain Scheduling Untuk Pengendalian Suhu Cairan Pada Plant Electric Water Heater". Universitas Diponegoro. Semarang. 2010
- [7] Mursyitah, Dian, Ahmad, Ilham "Sistem Pengendalian Level pada Coupled Tank Menggunakan Pengendali Static Sliding Mode Controller". Seminar Nasional Teknologi, Informasi dan Komunikasi (SNTIKI 9) UIN SUSKA RIAU, ISSN 2085-9902. 2017.
- [8] Sugianto, Okky. "Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode untuk pengaturan Level pada Coupled Tank." Skripsi Jurusan Elektro, ITS, Surabaya. 2012
- [9] Faizal, Ahmad. "Pengendalian Level Coupled Tank menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC) Hybrid Proportional Integral Derivatif (PID) Di Simulink Matlab", Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 13, No1, Desember 2015, pp.115-122.