

# Desain Pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC Untuk Pengendalian Level Pada *Coupled Tank*

Dian Mursyitah<sup>1</sup>, Ahmad Faizal<sup>2</sup>, Ewi Ismaredah<sup>3</sup>, A.E Arshi Maharani<sup>4</sup>

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN SUSKA RIAU<sup>1,2,3,4</sup>

Jl. HR. Soebrantas Km. 155 Pekanbaru - Riau

e-mail: dmursyitah@uin-suska.ac.id; ahmad.faizal@uin-suska.ac.d; ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id;

## Abstrak

Pengendalian level pada *coupled tank* memiliki masalah error yang cukup besar. Interaksi silang yang terjadi pada kedua tangki menyebabkan munculnya sifat non linier, ketidakpastian parameter ketika terjadi gangguan disalah satu tangki, sehingga butuh pengendali. Pengendali yang diajukan adalah logika fuzzy. Pemilihan logika Fuzzy karena tidak memerlukan perhitungan matematika yang rumit dalam hal perancangannya jika dibandingkan dengan pengendali lain. Namun, hasil keluaran dari pengendali fuzzy masih memiliki kekurangan dalam hal respon time. Hal ini disebabkan sifat non linier dan ketidakpastian parameter yang menyebabkan waktu pencapaian setpoint menjadi cukup lama. Selanjutnya pengendali SSMC ditambahkan untuk mengatasi kekurangan tersebut. Penambahan SSMC diharapkan dapat memperbaiki kekurangan pengendali Fuzzy. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, terbukti bahwa kombinasi fuzzy dan SSMC menghasilkan respon keluaran yang cepat serta error minimum dengan nilai respon transient pada tangki 1 yaitu konstanta waktu sebesar 0.36 detik. Pada tangki 2 konstanta waktu sebesar 0.66 detik, error steady state pada tangki 1 yaitu sebesar  $-0.003 \text{ m}^3$  dan pada tangki 2 sebesar  $-0.001 \text{ m}^3$ . Hal ini membuktikan SSMC berhasil meningkatkan kinerja pengendali Fuzzy pada *Coupled tank*.

**Kata Kunci** : *Coupled tank*, level, pengendali hybrid fuzzy-SSMC

## Abstract

Level control in *coupled tank* has a significant error problem. The cross interaction taht occurs in the two tanks causes the appearance of non linear properties, uncertainty parameters when interference occurs., so it is need control. The proposed controller is fuzzy logic. Fuzzy logic selected, because it does not require complicated mathematical calculations in terms of design when compared with other controllers. However, the outputs from fuzzy controllers still lack in the response time. This is due to the non linear nature and uncertainty taht causes the setpoint achievement time to be quite long. Furthermore, the SSMC controller was added to overcome these deficiencies. The addition of SSMC is expected to improve the lack of Fuzzy controllers. Based on the results of tests that have been carried out, it is proved that the combination of fuzzy and SSMC produces a fast output response and a minimum error with fast transient response. In tank 1, time constant is 0.36 seconds. In tank 2, time constant is 0.66 seconds. The error are small, which are in tank 1 is  $-0.003 \text{ m}^3$  and in tank 2 is  $-0.001 \text{ m}^3$ . It proved that SSMC can increase performance of Fuzzy Controller in *coupled tank*

**Keywords** : *Coupled tank*, level, hybrid fuzzy-SSMC controller

## 1. Pendahuluan

Pada dunia industri yang melibatkan banyak *fluida* yang diproses, level merupakan parameter yang penting untuk dikendalikan. Level suatu *fluida* baik dalam pipa, maupun wadah harus diketahui agar dapat dikendalikan. Apabila level suatu cairan tidak dikendalikan, maka akan mengganggu proses-proses yang lain. Pengendalian level *fluida* dalam tangki banyak diaplikasikan dalam industri, sehingga menarik untuk diangkat menjadi topik penelitian tentang *fluida* dalam tangki, misalnya saja pengendalian *fluida* pada *coupled tank*. *Coupled Tank* merupakan dua tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. Hal ini memungkinkan adanya interaksi antara dua tangki tersebut yang menyebabkan terganggunya kestabilan level. Interaksi silang yang terjadi juga menimbulkan efek non linieritas, ketidakpastian parameter ketika terjadi gangguan pada salah satu tangki. Teknik *Decoupling* menjadi solusi untuk permasalahan tersebut dengan cara mengubah fungsi transfer dari sistem TITO (*Two Input Two Output*) pada *coupled tank* menjadi sistem SISO (*Single Input Single Output*) sehingga dapat menghilangkan efek interaksi silang antara masukan dan keluaran [1][2].

Selain dengan teknik *Decoupling*, desain pengendali pada sistem *coupled tank* dapat pula menjadi solusi untuk menstabilkan level pada tangki tersebut.. Adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pengendalian level pada *coupled tank* yang pertama adalah tentang desain pengendali PI dengan teknik *decoupling*. Pada penelitiannya yang membandingkan pengendali PI menggunakan *decoupling* dan tanpa *decoupling*, menunjukkan bahwa pengendali PI

dengan *decoupling* memiliki respon *transient* yang lebih baik dengan *settling time* berada pada detik ke 38 dan *maximum overshoot* 0 % pada kedua tangki. Jika dibandingkan dengan pengendali PI tanpa *decoupling* dimana *settling time* berada pada detik ke 78 dan *maximum overshoot* 10.2 % pada kedua tangki [2]. Yang kedua penelitian tentang *coupled tank* dengan menggunakan pengendali Fuzzy-PI untuk mengendalikan level pada *coupled tank*. Kelemahan yang ditemukan pada penelitian ini adalah terjadinya *overshoot* di *setpoint* untuk level tangki pertama. Namun, tidak terjadi *overshoot* pada *setpoint* untuk level tangki kedua. Kelemahan ini tidak dapat diselesaikan oleh pengendali fuzzy-PI [3].

Permasalahan *overshoot* pada *coupled tank* tersebut kemudian diselesaikan dengan mendesain pengendali Fuzzy-PID Tuner. Pada penelitian ini, pengendali utama adalah PID, sementara fuzzy digunakan sebagai sistem pakar untuk mencari parameter P, I dan D yang paling baik. Dalam penelitian ini, *overshoot* telah menurun untuk setiap pergantian *setpoint*. Namun, faktanya adalah fuzzy yang dirancang memiliki tingkat kerumitan yang tinggi karena berhubungan dengan kepakaran dalam mencari parameter untuk PID dengan kondisi yang berubah-ubah. Hal ini dapat dilihat dari jumlah himpunan keanggotaan yang digunakan sehingga menghasilkan *rule base* yang banyak [4]. Sedangkan Algoritma fuzzy sebagai pengendali memiliki kelebihan dan kekurangan. Salah satu kelebihan adalah tidak memerlukan perhitungan matematika yang rumit karena direpresentasikan dalam bentuk *rule*. Algoritma fuzzy sebagai pengendali memiliki *rule* yang lebih sederhana. Sedangkan beberapa penelitian menyebutkan kelemahan fuzzy sebagai pengendali adalah lambat dalam hal respon *time* yang diperoleh [4][5][6].

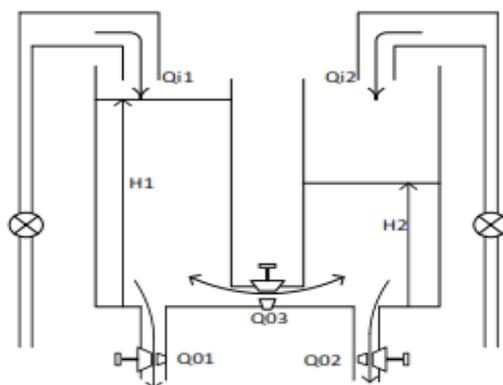
Penyelesaian mengenai kecepatan respon *time* ini dapat diselesaikan dengan menambah pengendali SSMC yaitu *Static Sliding Mode Controller*. Dimana SSMC terkenal akan kekokohnya terhadap gangguan dan memiliki respon *time* yang cepat. Hal ini telah dibuktikan dalam beberapa penelitian [1][7]. Berdasarkan literatur *review*, maka penelitian yang akan dilakukan adalah mengkombinasikan pengendali Fuzzy dan SSMC (*Static Sliding Mode Controller*) untuk mengendalikan level pada *coupled tank* dengan tujuan mempercepat respon *time* yang terdiri dari *time constant* ( $\tau$ ), *time rise* ( $t_r$ ), *time settling* ( $t_s$ ), *time delay* ( $t_d$ ) dan *error* ( $e$ ).

## 2. Metode Penelitian

Metode Penelitian dimulai dengan studi literatur, validasi model matematis sistem *Coupled Tank*, kemudian dilanjutkan dengan perancangan pengendali Fuzzy, perancangan SSMC dan kombinasi Fuzzy. Langkah selanjutnya adalah mensimulasikan model matematis sistem bersama hasil rancangan pengendali, dan langkah terakhir adalah hasil pembahasan dan penarikan kesimpulan

### 2.1. Sistem Coupled Tank

*Coupled Tank* tersusun dari dua buah tangki yang dihubungkan oleh sebuah pipa atau lubang saluran. *Level* cairan pada tangki pertama dinyatakan sebagai  $H_1$  dan *level* cairan pada tangki kedua adalah  $H_2$ . Bila *input* kontrol adalah laju *flow*  $Q_1$  dan  $Q_2$ , maka *variable* yang akan dikontrol adalah kedua *level*  $H_1$  dan  $H_2$ , dengan *disturbance* yang disebabkan oleh variasi laju *flow* pada *valve* A dan B. Hal ini menimbulkan suatu sistem dengan dua tangki yang saling berinteraksi. Sistem *Coupled Tank* dapat dikonfigurasi sebagai sistem SISO atau sebagai sistem TITO melalui manipulasi pompa *input* dan *sectional* daerah *valve*. dari hukum kesetimbangan massa, persamaan dinamis dari masing-masing tangki dapat diformulakan [8].



Gambar 1. *Coupled Tank* [8]

## 2.2. Pemodelan Sistem Coupled Tank

Untuk memperoleh pemodelan matematis sistem diturunkan persamaan berikut :

$$A_1 \frac{dH_1}{dt} = Q_{i1} - Q_{o1} - Q_{o3} \quad (2.1)$$

$$A_2 \frac{dH_2}{dt} = Q_{i2} - Q_{o2} - Q_{o3} \quad (2.2)$$

$$Q_{o1} = C_{d1} a_1 \sqrt{2g} \sqrt{H_1} = a_1 \sqrt{H_1} \quad (2.3)$$

$$Q_{o2} = C_{d2} a_2 \sqrt{2g} \sqrt{H_2} = a_2 \sqrt{H_2} \quad (2.4)$$

$$Q_{o3} = C_{d3} a_3 \sqrt{2g} \sqrt{H_1 - H_2} = a_3 \sqrt{H_1 - H_2} \quad (2.5)$$

Keterangan :

$A_1, A_2$  adalah Luas penampang tangki 1 dan 2;  $\frac{dH_1}{dt}, \frac{dH_2}{dt}$  adalah Perubahan level fluida pada tangki 1 dan 2;  $Q_{i1}, Q_{i2}$  adalah Aliran masuk dari pompa 1 dan 2;  $Q_{o1}, Q_{o2}, Q_{o3}$  adalah Aliran keluar dari valve 1,2 dan penghubung kedua tangki;  $C_{d1}, C_{d2}, C_{d3}$  adalah koefisien discharge dari valve = 1 untuk orifice plate valve;  $a_0, a_1, a_2$  adalah Luas penampang valve ;  $g$  adalah konstanta gravitasi;  $H_1, H_2$  adalah Level fluida pada tangki 1 dan 2.

Dinamika plant coupled tank dapat dianalisa dan dimodelkan dalam bentuk persamaan matematis. Kestimbangan massa yang terjadi di coupled tank dapat dirumuskan dengan persamaan differensial berikut [10]:

Level coupled tank pada tangki 1:

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{k_1}{A} U_1(t) - \frac{\beta_1 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2\bar{h}_1}} H_1(t) + \frac{\beta_x a}{A} \sqrt{\frac{g}{2|\bar{h}_2 - \bar{h}_1|}} [H_2(t) - H_1(t)] \quad (2.6)$$

Level coupled tank pada tangki 2:

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{k_2}{A} U_2(t) - \frac{\beta_2 a}{A} \sqrt{\frac{g}{2\bar{h}_2}} H_2(t) - \frac{\beta_x a}{A} \sqrt{\frac{g}{2|\bar{h}_2 - \bar{h}_1|}} [H_2(t) - H_1(t)] \quad (2.7)$$

Kemudian dinyatakan dalam bentuk matriks, diubah ke dalam bentuk transfer function dengan parameter dan titik kerja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

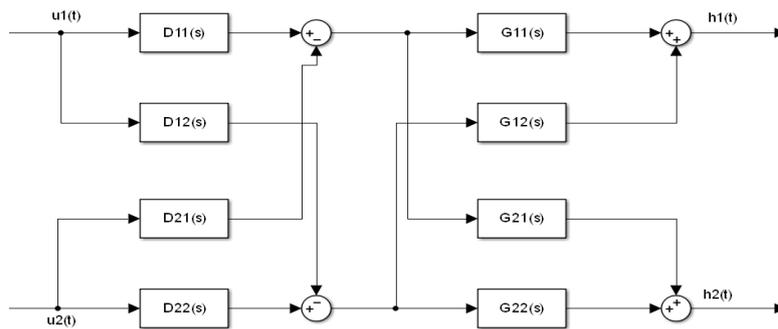
Tabel 2.1 Titik kerja plant

$u1$ (V)	2,5
$u2$ (V)	2
$\bar{h}_1$ (x10% Range)	2.749
$\bar{h}_2$ (x10% Range)	3.262
$k1$ (cm <sup>3</sup> /V.s)	2,88
$k2$ (cm <sup>3</sup> /V.s)	2,588

Tabel 2.2 Nilai parameter *plant*

A (cm <sup>2</sup> )	66,25
a (cm <sup>2</sup> )	0,1963
$\beta_1$	0,35903
$\beta_2$	0,45848
Bx	0,38705

Berdasarkan persamaan 2.6 sampai 2.6, maka disubstitusikan parameter dan titik kerja *plant* pada tabel 2.2 dan 2.1. Setelah diperoleh model matematis berbentuk transfer function maka dilakukan proses decoupling untuk menghilangkan interaksi silang yang terjadi antara tangki satu dan tangki dua.



Gambar 2. Decoupling proses [8]

Blok diagram decoupling dapat diubah kedalam bentuk matriks dengan  $D11(s) = D22(s) = 1$ .

$$D(s) = \begin{bmatrix} D11(s) & D12(s) \\ D21(s) & D22(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & D12(s) \\ D21(s) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Berikut ini adalah bentuk matriks dari respon keluaran plant setelah menggunakan *decoupler*

$$G(s)D(s) = \begin{bmatrix} G11(s) & 0 \\ 0 & G22(s) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\begin{bmatrix} G11(s) & G12(s) \\ G21(s) & G22(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & D12(s) \\ D21(s) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G11'(s) & 0 \\ 0 & G22'(s) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dari persamaan diatas, maka didapatkan persamaan *decoupling*  $D12(s)$  dan  $D21(s)$  :

$$D12(s) = -\frac{G12(s)}{G11(s)} \quad D21(s) = -\frac{G21(s)}{G22(s)} \quad (2.11)$$

Dari persamaan tersebut, maka didesain *decoupling* pada proses *coupled tank* sebagai berikut :

$$D12(s) = -\frac{0.0005161}{0.03906s + 0.001019} \quad (2.12)$$

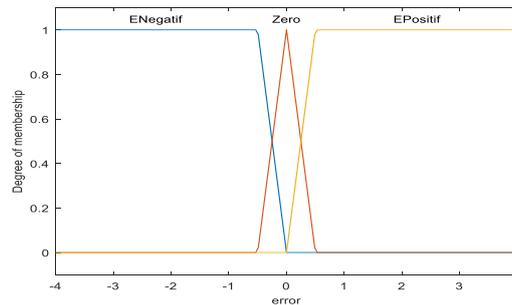
$$D21(s) = -\frac{0.0004638}{0.04347s + 0.00124} \quad (2.13)$$

### 2.3. Perancangan Pengendali

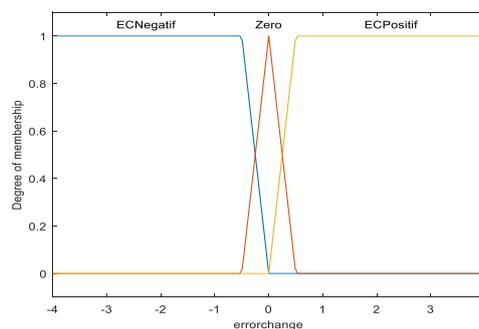
#### 2.3.1. Perancangan pengendali Fuzzy

Pada perancangan ini digunakan nilai *error* dan *delta error* sebagai input pengendali *fuzzy* dan output *fuzzy* yaitu nilai tegangan pompa. Dalam proses fuzzifikasi, perlu ditentukan bentuk dan batasan fungsi keanggotaan (*membership function*) input dan output pengendali. Bentuk fungsi keanggotaan input dan output yang dipakai pada perancangan ini adalah bentuk segitiga (*triangle*)

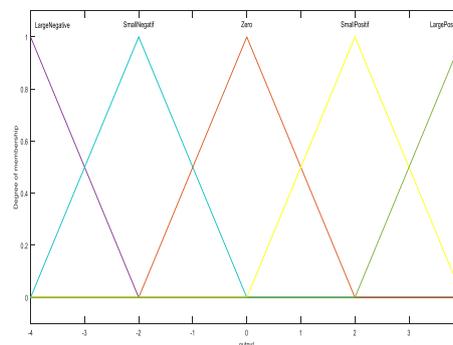
dan trapesium (*trapezium*). Penentuan rentang fungsi keanggotaan *error*, *delta error* dan *control signal* dibuat dengan interval [-4, 4] yang menyatakan persentasi dari sebuah input/output.



Gambar 3. Fungsi keanggotaan input *Error*



Gambar 4. Fungsi keanggotaan input *ChangeError*



Gambar 5. Fungsi keanggotaan output *Control Signal*

Tabel 2.3 *Rule base* pengendali *fuzzy*

<i>Error</i> <i>EChange</i>	<i>ENegative</i>	<i>EZero</i>	<i>EPositive</i>
<i>ECNegative</i>	<i>LargeNegative</i>	<i>SmallNegative</i>	<i>Zero</i>
<i>ECZero</i>	<i>SmallNegative</i>	<i>Zero</i>	<i>SmallPositive</i>
<i>ECPositive</i>	<i>Zero</i>	<i>SmallPositive</i>	<i>LargePositive</i>

### 2.3.2. Perancangan Pengendali SSMC

Transfer Function dari decoupling yang ditunjukkan pada persamaan D12 dan D22 akan dimisalkan menjadi fungsi transfer dimana koefisien numerator dan denominator dimisalkan menjadi variabel yang bernilai tetap. Maka *transfer functionplant* akan menjadi:

$$G_1(s) = \frac{c_1}{sa_1 + b_1}, \quad G_2(s) = \frac{c_2}{sa_2 + b_2}$$

Misalkan

$$a_1 = 0.03906, \quad a_2 = 0.04347$$

$$b_1 = 0.001019, \quad b_2 = 0.00124$$

$$c_1 = 0.0005161, \quad c_2 = 0.0004638$$

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

$$a\dot{h} = -bh + cu \tag{2.14}$$

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

$$x_1 = e \quad \dot{x}_1 = \dot{e} = x_2 \quad \dot{x}_2 = \ddot{e} \tag{2.15}$$

Persamaan untuk sinyal *error* adalah:

$$e = r - h$$

$$h = r - x_1 \tag{2.16}$$

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

$$\dot{x}_1 = x_2 = -h \tag{2.17}$$

$$\dot{x}_2 = -\ddot{h} \tag{2.18}$$

Dengan substitusikan persamaan (2.15), (2.16) dan (2.17) pada persamaan (2.14), sehingga:

$$-a\dot{x}_1 = -b(r - x_1) + cu \tag{2.19}$$

$$ax_2 = br - bx_1 - cu \tag{2.20}$$

Didefinisikan suatu permukaan luncur:

$$S(\dot{x}_1 + \dot{x}_2) = 0 \tag{2.21}$$

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

$$ax_2 - br + bx_1 + cu_{eq} = 0 \tag{2.22}$$

$$u_{eq} = \frac{1}{c}(-ax_2 + br - bx_1) \tag{2.23}$$

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

$$\dot{\sigma}(x) = ax_2 - br + bx_1 + cu_{eq} - cu_N \tag{2.24}$$

Setelah persamaan (2.23) disubstitusikan ke persamaan (2.24) maka didapatkan sinyal kendali natural seperti persamaan berikut :

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

Berdasarkan analisa kestabilan Lyapunov maka dipilih:

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

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

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

Dengan demikian didapat untuk sinyal kendali total adalah sebagai berikut:

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

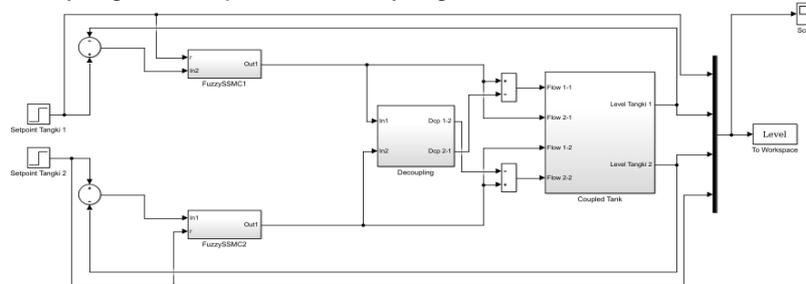
$$u = \frac{1}{c}(-ax_2 + br - bx_1) + \frac{1}{c} \eta \text{sign}(\sigma(x))$$

Fungsi diskontinyu *signum* diubah menjadi fungsi kontinyu saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan permasalahan *chattering* pada *pengendali sliding mode*, maka :

$$u = \frac{1}{c} \left( (-ax_2 + br - bx_1) + \eta \operatorname{sat}(\sigma(x)) \right) \quad (2.25)$$

### 2.3.3. Perancangan Pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC

Setelah dirancang pengendali *fuzzy* dan SSMC secara terpisah maka tahap selanjutnya adalah mengombinasikan kedua pengendali tersebut dimana tujuannya adalah untuk mencapai performansi sistem yang lebih cepat serta error yang minimum.

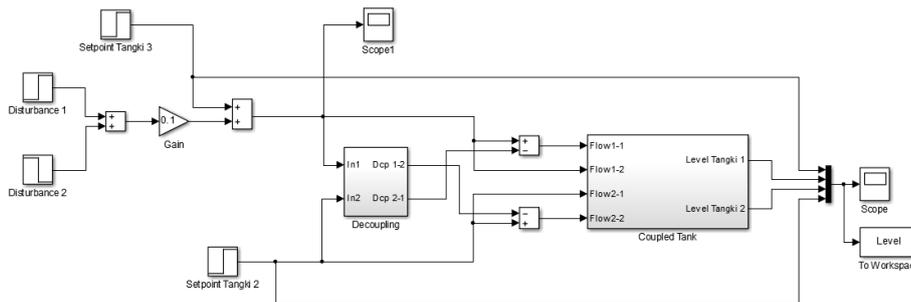


Gambar 6. Rancangan pengendali Hybrid Fuzzy-SSMC

## 3. Hasil dan Analisa

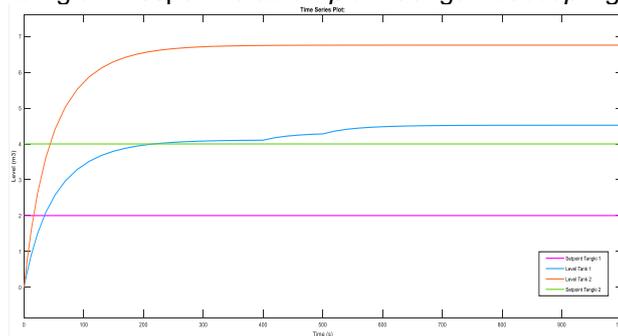
### 3.1. Hasil Simulasi Validasi Model Matematis Secara *Open Loop*

*Transfer function coupled tank* akan diimplementasikan pada Simulink MATLAB dengan konfigurasi *plant* dalam keadaan *open loop* yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut :



Gambar 7 Diagram blok Simulink *plant coupled tank* dalam keadaan *open loop*

Setelah selesai mendesain blok diagram Simulink tersebut, maka *software* Simulink MATLAB disimulasikan dan menghasilkan grafik yang menyatakan respon keluaran *open loop* sistem. Gambar 7 memperlihatkan grafik respon keluaran *plant* dengan *decoupling*.

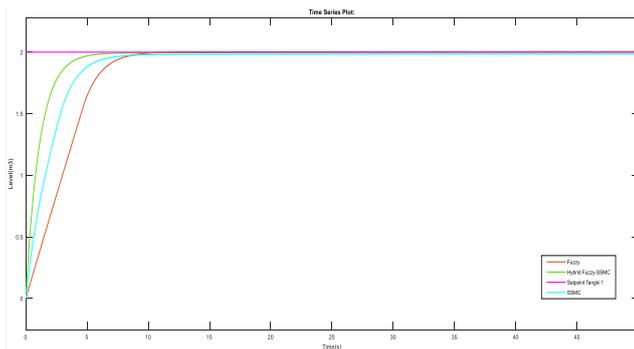


Gambar 8 Grafik respon keluaran *coupled tank* menggunakan *decoupling*

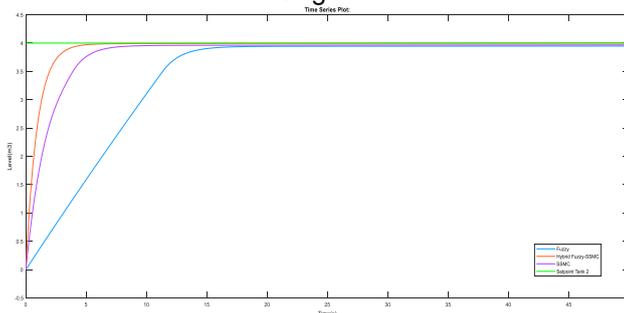
Hasil simulasi menunjukkan respon keluaran belum mencapai setpoint yang diberikan. Tangki satu 2 dan tangki dua 4.

### 3.2. Hasil Simulasi dan Analisa Menggunakan Pengendali

Pengujian performansi pengendali *fuzzy*, SSMC dan *Hybrid Fuzzy-SSMC* dilakukan untuk menentukan performansi pengendali yang lebih baik dalam hal pencapaian *setpoint* dan respon transien sistem. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan respon keluaran pengendali *Fuzzy*, *SSMC* dan *Hybrid Fuzzy-SSMC* pada tangki 1



Gambar 10 Perbandingan respon keluaran pengendali *Fuzzy*, *SSMC* dan *Hybrid Fuzzy-SSMC* pada tangki 2

### 3.3. Analisa Respon Menggunakan Pengendali pada Tangki 1 dan Tangki 2

Hasil analisa respon perbandingan pengendali ditunjukkan pada Table 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan performansi pengendali logika *fuzzy*, *SSMC* dan *Hybrid Fuzzy-SSMC*

Parameter	<i>Fuzzy</i>		<i>SSMC</i>		<i>Hybrid Fuzzy-SSMC</i>	
	Tangki 1	Tangki 2	Tangki 1	Tangki 2	Tangki 1	Tangki 2
<i>Time Constant</i> ( $\tau$ )	3.96 detik	8.05 detik	1.04 detik	1.04 detik	0.36 detik	0.66 detik
<i>Rise Time</i> (5%-95%)	6.47 detik	13.003 detik	3.59 detik	2.59 detik	2.29 detik	1.52 detik
<i>Settling Time</i> ( $t_s$ )	11.61 detik	14.91 detik	7.62 detik	7.62 detik	5.66 detik	5.66 detik
<i>Delay Time</i> ( $t_d$ )	3.19 detik	6.33 detik	0.52 detik	0.52 detik	0.36 detik	0.36 detik
<i>Error Steady State</i> ( $E_{ss}$ )	-0.007 $m^3$	0.053 $m^3$	-0.007 $m^3$	-0.002 $m^3$	-0.003 $m^3$	-0.001 $m^3$

## 4. Kesimpulan

Setelah dilakukan proses simulasi, analisa dan pembahasan, maka diperoleh kesimpulan:

1. Pengendalian level pada *coupled tank* menggunakan pengendali *hybrid fuzzy-SSMC* mempunyai performansi yang lebih baik ditinjau dari nilai parameter identifikasi sistem ( $t$ ,  $t_r$ ,  $t_s$ ,  $t_d$  dan  $e_{ss}$ ) jika dibandingkan dengan pengendali *fuzzy* dan pengendali *SSMC* tunggal.

2. Nilai respon transien yang hampir sama dikedua tangki yaitu pada tangki 1 konstanta waktu sebesar 0.36 detik, Pada tangki 2 konstanta waktu sebesar 0.66 detik, *error steady state* pada tangki 1 yaitu sebesar  $-0.003 \text{ m}^3$  dan pada tangki 2 sebesar  $-0.001 \text{ m}^3$ .

#### Daftar Pustaka

- [1] Apriyadi, Bobby Dwi dan Rusdhianto Effendie A.K. "Perancangan *Sliding Mode Controller* untuk Sistem Pengaturan *Level* dengan Metode *Decoupling* pada *Plant Coupled Tanks*". Jurnal Teknik ITS Vol.6 No.1. 2017
- [2] Sadli, Muhammad. "Disain Kontroler PI dengan *Decoupling* pada Sistem Kendali *Level Coupled Tank*". Jurnal ECOTIPE Vol. 1 No. 2, 2014.
- [3] Qomarudin, Mochamad Nur. "Kontroler *Fuzzy-PI* untuk *Plant Coupled-Tank*". Surabaya. 2013.
- [4] Syah, Erwin. "Pengendalian *Level* pada *Coupled Tank* Menggunakan Pengendali *Fuzzy-PID Tuner*". Teknik Elektro, Fakultas Sain dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim, Riau. 2016.
- [5] Yazid, Edwar. "Penerapan Kendali Cerdas Pada Sistem Tangki Air Menggunakan Logika Fuzzy". Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia Vol.9 No.2. 2009
- [6] Rahman, Farid Tahfifur. "Perancangan Pengendali Logika Fuzzy untuk Kelembaban Ruang". Jurnal Tugas Akhir. Jurusan Fisika FMIPA ITS