

Analisa Pengendali *Hybrid Sliding Mode Control* dan *Fuzzy Logic Controller* dalam Penurunan *Error Steady State* Untuk Mengendalikan *Concentration* pada *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)*

Ahmad Faizal¹, Dian Mursyitah², Ewi Ismaredah³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Suska Riau

Email: ahmad.faizal@uin-suska.ac.id, dmursyitah@uin-suska.ac.id, ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id,

ABSTRACT

Systems in industry often occur in performance or desired performance. One of them isothermal CSTR system where the system has not been able to work according to the desired set point 1 g.mol / liter, to achieve the set point then used the controller Sliding Mode Control in Hybrid with Fuzzy Logic Controller in identification with FOPDT method to lower the value steady state error. hybrid sliding mode control and fuzzy logic controller has reached the desired set point value of 1 g.mol / liter with settling time 0.7098 sec while sliding mode controller has steady state error 0.0004 g.mol / liter with time steady / settling time 0.7275 seconds.

Keywords : *FOPDT, Fuzzy Logic Controller , Isothermal CSTR , SMC*

INTISARI

Sistem di industri sering terjadi kesalahan dalam mencapai kinerja atau performansi yang diinginkan. Salah satunya pada sistem *isothermal CSTR* dimana sistem ini belum mampu bekerja sesuai *set point* yang diinginkan 1 g.mol/liter, untuk mencapai *set point* maka digunakan pengendali *Sliding Mode Control* yang di *Hybrid* dengan *Fuzzy Logic Controller* yang diidentifikasi dengan metode FOPDT untuk menurunkan nilai *error steady state*. *hybrid sliding mode control dan fuzzy logic controller* telah mencapai nilai *set point* yang diinginkan yaitu 1 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 0.7098 detik, sementara pada pengendali *sliding mode control* mengalami *error steady state* sebesar 0.0004 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 0.7275 detik.

Kata kunci : *FOPDT, Fuzzy Logic Controller, Isothermal CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor), Sliding Mode Control.*

I. PENDAHULUAN

Reaktor merupakan suatu alat yang digunakan untuk melihat perubahan proses yang beraksi secara langsung [1], banyak macam-macam reaktor yang ada, salah satu bentuk reaktor ialah *isothermal CSTR* dimana *isothermal CSTR* adalah sejenis *CSTR* yang ada dan beroperasi pada suhu konstan. Volume juga diasumsikan konstan [2].

Sudah ada beberapa penelitian yang terkait dengan sistem *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* ini dimana sistem *Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* belum mampu untuk mencapai *set point* yang diinginkan sehingga diperlukan pengendali agar *error steady state* yang terjadi dapat diminimalisir. Berdasarkan penelitian yang terkait, penulis tertarik untuk melakukan sebuah

penelitian dengan menggunakan pengendali PID yang dinilai dapat membangkitkan *rise time* serta dapat mengurangi *settling time* [3], dengan pengendali *Sliding Mode Control (SMC)* yang dinilai lebih kuat terhadap perubahan dan gangguan *set point* [4].

Dimana tujuan utama penggunaan pengendali *sliding mode* adalah untuk memaksa dan membatasi variabel yang dikendalikan berada pada permukaan luncur yang dirancang dan menjaganya agar dapat tetap berada pada keadaan yang diinginkan [5].

II. LANDASAN TEORI

A. Pengendali *Sliding Mode*

Pengendali *sliding mode* merupakan sebuah kendali umpan balik pensaklaran berkecepatan

tinggi (*high speed switching feedback control*) yang efektif dan kokoh dalam mengendalikan sistem *linier* maupun *non linier* [7]. Pengendali *sliding mode* terkenal karena kekokohnya karena pengendali ini menyediakan sebuah metode perancangan sistem yang tidak peka terhadap ketidakpastian parameter lingkungan dan gangguan dari luar [7], yang didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

1. Sistem dinamis

$$x^{(n)}(t) = f(x,t) + b(x,t)u + d(t) \tag{1}$$

dimana *u control input*, *x* merupakan vektor keadaan, *f(x,t)* dan *b(x,t)* berupa fungsi terbatas, *d(t)* gangguan eksternal. Jika *x_d* merupakan *x* yang diinginkan, maka *tracking error*-nya dapat dinyatakan dengan [10].

$$e(t) = x(t) - x_d(t) \tag{2}$$

2. Fungsi *Switching*

Fungsi *Switching* yaitu permukaan *S(x,t)* di dalam ruang keadaan *Rⁿ*, memenuhi Persamaan (3).

$$S(x,t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{(n-1)} e \tag{3}$$

3. Permukaan *Sliding*

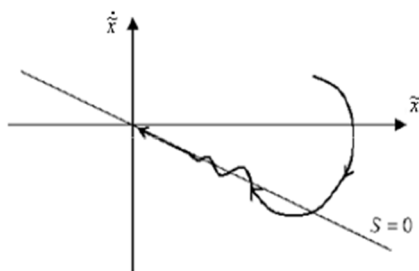
Permukaan *sliding (sliding surface)* merupakan persamaan yang memenuhi:

$$S(x,t) = 0 \tag{4}$$

4. Kondisi *Sliding*

Besar nilai *control input* pada SMC bergantung pada nilai *S*, sehingga memenuhi pertidaksamaan yang disebut kondisi *sliding*. Kondisi tersebut ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$$S\dot{S} < 0 \text{ atau } \dot{S} \text{sgn}(S) \leq -\eta \tag{5}$$



Gambar 1. Kondisi *Sliding* [10]

B. *Fuzzy Logic Control (FLC)*

Pengendali *fuzzy (fuzzy controller)* umumnya bekerja secara *heuristic (trial and error)* dan berdasarkan pengalaman manusia. Himpunan *fuzzy A* dalam semesta pembicaraan *U* biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen *u (u anggota U)* dan besarnya derajat keanggotaan (*grade of membership*) elemen tersebut, μ_A sebagai:

$$A = \{ (u, \mu_A(u) / u \in U) \} \tag{6}$$

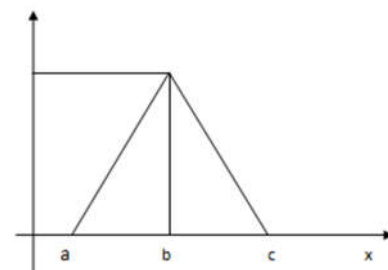
Suatu pengendali *fuzzy (fuzzy logic controller)* tersusun dari empat buah komponen yang bekerja bersamaan dan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. *Rule-base*, berisi sekumpulan aturan *fuzzy* dalam mengendalikan sistem.
2. *Inference mechanism*, mengevaluasi aturan kontrol yang relevan dan mengambil keputusan masukan yang akan digunakan untuk *plant*.
3. *Fuzzifikasi*, mengubah masukan sehingga dapat digunakan pada aturan di *rule-base*, dari nilai *crisp* menjadi nilai *fuzzy*.
4. *Defuzzifikasi*, mengubah kesimpulan yang diperoleh dari *inference mechanism* menjadi masukan *plant*, dari nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp*. [10]

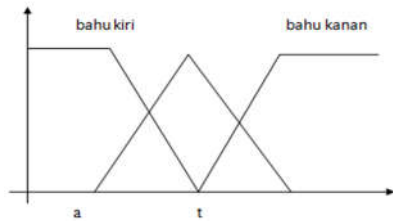
Fungsi keanggotaan (*members hip functional*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan *input* data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 dan 1 [11]. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan:

1. Representasi kurva segitiga

Fungsi keanggotaan segitiga ditandai adanya 3 (tiga) parameter {*a, b, c*} yang akan menentukan kordinat *x* dari tiga sudut, rumusnya sebagai berikut:



Gambar 2. Kurva Segitiga [11]



Gambar 3. Kurva Fungsi Keanggotaan. [11]

Untuk aturan fungsi-fungsi implikasi sendiri tiap aturan (Proposisi) pada basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan relasi *fuzzy*, bentuk umum proposisi menggunakan operator logika fuzzy adalah : *if x is A then y is B*. Dengan x dan y adalah skalar, dan B dan A adalah himpunan *fuzzy*. Proposisi mengikuti *if* tersebut sebagai anteseden. Sedangkan proposisi mengikuti *then* tersebut sebagai konsekuen [11].

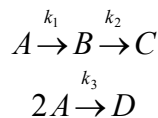
C. Modeling & Isothermal CSTR

Isothermal CSTR adalah sejenis CSTR yang ada beroperasi pada suhu konstan. Volumennya juga di asumsikan konstan, Skema reaksi terdiri dari reaksi ireversibel aliran umpan hanya berisi komponen A. [2]

Adapun jenis cairan yang digunakan pada proses penelitian ini ialah sebagai berikut: *Cyclopentadine, Cyclopentenol, Cyclopentanediol, Dicyclopentadiene*. [2]

Pada kondisi isothermal atau suhu tetap, suhu umpan sama dengan suhu larutan di dalam reaktor maupun suhu larutan keluar reaktor. [12]

Isothermal CSTR memiliki reaksi berikut skema yang disebut reaksi Van de Vusse. [2]

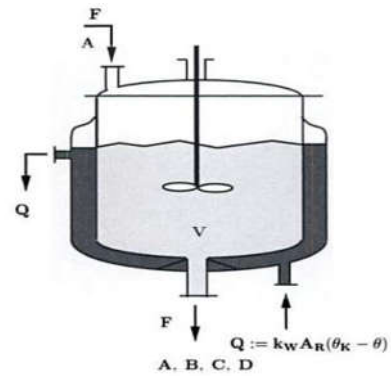


Dari skema di atas ditunjukkan tahapan-tahapan terhadap laju molaritasnya, dari skema tersebut didapatlah konstantanya sebagai berikut: [2]

$$k_1 = 50h^{-1} = 0.83 \text{ min}^{-1}$$

$$k_2 = 100h^{-1} = 1.66 \text{ min}^{-1}$$

$$k_3 = 10moll^{-1}h^{-1} = 0.166moll^{-1} \text{ min}^{-1}$$



Gambar 4. Representasi skema pada reaktor

Konsentrasi umpan pada *steady state* adalah:

$$C_{Afs} = 10gmoll^{-1}$$

Persamaan untuk keseimbangan keseluruhan material yang digunakan. [2]

$$\frac{d(V\rho)}{dt} = F_i\rho - F\rho \tag{7}$$

jadi

$$F = F_i \tag{8}$$

Komponen keseimbangan material bisa juga menggunakan: [2]

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F(C_{Af} - C_A) - V k_1 C_A - V k_3 C_A^2 \tag{9}$$

Untuk menyederhanakan persamaan (7) kita dapat menggunakan Persamaan yang ada pada (9) berikut adalah persamaan untuk setiap komponen kesetimbangan materialnya. [2]

$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - r_A \tag{8}$$

$$\frac{dC_B}{dt} = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - r_B \tag{9}$$

Tingkat pembentukan molar untuk setiap komponen (per unit *volume*) sebagai berikut: [2]

$$r_A = -k_1 C_A - k_3 C_A^2 \tag{10}$$

$$r_B = k_1 C_A - k_2 C_B \tag{11}$$

Sementara untuk konsentrasi *steady state* A dan B didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut: [2]

$$C_{AS} = \frac{-\left(k_1 + \frac{F_S}{V}\right) + \sqrt{\left(k_1 + \frac{F_S}{V}\right)^2 + 4k_3 \frac{F_S}{V} C_{Afs}}}{2k_3} \tag{12}$$

$$C_{BS} = \frac{k_1 C_{AS}}{\frac{F_s}{V} + k_2} \quad (13)$$

Keadaan ruang model linier direpresentasikan sebagai berikut: [2]

$$x = Ax + Bu$$

$$Y = Cx + Du$$

Untuk variabel *state* di representasikan dengan matriks A sebagai berikut: [2]

$$x = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Untuk variabel *output* di representasikan dengan matriks B sebagai berikut [2]

$$y = \begin{bmatrix} C_A & -C_{AS} \\ C_B & -C_{BS} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Variabel *input* direpresentasikan sebagai berikut: [2]

$$u = \begin{bmatrix} \frac{F}{V} & -\frac{F_s}{V} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Dua persamaan fungsional dinamis direpresentasikan sebagai berikut: [2]

$$\frac{dC_A}{dt} = f_1 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = \frac{F}{V} (C_{Af} - C_A) - k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (17)$$

$$\frac{dC_B}{dt} = f_2 \left(C_A, C_B, \frac{F}{V} \right) = -\frac{F}{V} C_B + k_1 C_A - k_2 C_B \quad (18)$$

Elemen ruang pada state space Matriks A ditentukan oleh:

$$A_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right|_{X_s, U_s} \quad (19)$$

$$A_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right|_{X_s, U_s} = -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} \quad (20)$$

$$A_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_B} \right|_{X_s, U_s} = 0 \quad (21)$$

$$A_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_A} \right|_{X_s, U_s} = k_1 \quad (22)$$

$$A_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial C_B} \right|_{X_s, U_s} = \frac{F_s}{V} - k_2 \quad (23)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (24)$$

Elemen ruang pada *state space* Matriks B ditentukan oleh:

$$B_{ij} = \left. \frac{\partial f_i}{\partial u_j} \right|_{X_s, U_s} \quad (25)$$

$$B_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(\frac{F}{V} \right)} \right|_{X_s, U_s} = C_{Af} - C_{As} \quad (26)$$

$$B_{12} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial u_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{X_s, U_s} = \frac{F_s}{V} \quad (27)$$

$$B_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_1} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(\frac{F}{V} \right)} \right|_{X_s, U_s} = -C_{Bs} \quad (28)$$

$$B_{22} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_2} \right|_{X_s, U_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(-\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{X_s, U_s} = 0 \quad (29)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{Af} - C_{As} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{Bs} & 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

Dari matriks A dan matriks B di atas didapatkan model ruang *State Space* yang di representasikan sebagai berikut:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} & 0 \\ k_1 & \frac{F_s}{V} - k_2 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$B = \begin{bmatrix} C_{Af} - C_{As} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{Bs} & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$C = [0 \quad 1] \quad (33)$$

$$D = [0 \quad 0] \quad (34)$$

Selanjutnya, mengubah model *state space* ke *transfer function*.

$$G(s) = C(sI - A)^{-1} B \quad (35)$$

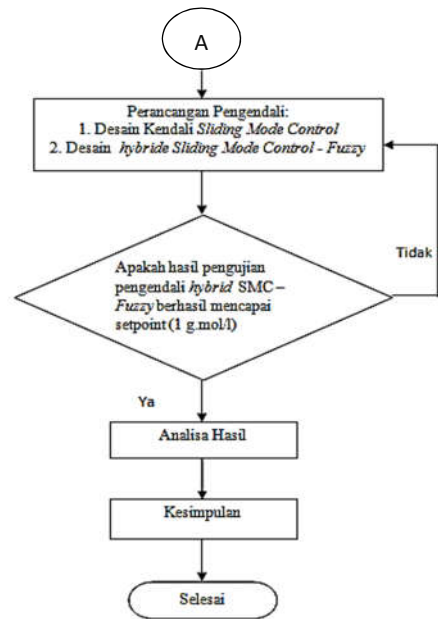
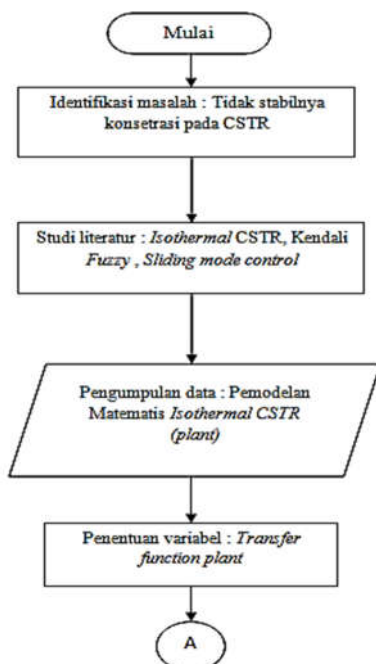
$$G_p = \frac{-1.117s + 3.1472}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \quad (36)$$

$$G_d = \frac{0.4762}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \quad (37)$$

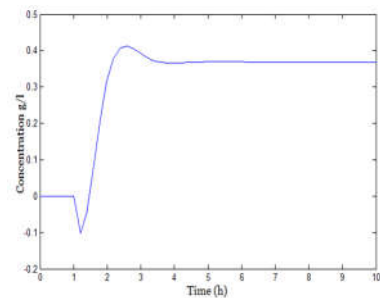
Tabel 1. Parameter Proses *Ishothermal CSTR*

No	Parameter	simbol	Nilai
1	Kesetimbangan Masukan Konsentrasi	C_{A0}	10 g mol ⁻¹
2	Kesetimbangan Pada Konsentrasi A	C_{As}	3 g mol ⁻¹
3	Kesetimbangan Pada Konsentrasi B	C_{Bs}	1.117 g mol ⁻¹
4	Nilai Molaritas Konstan Untuk A → B	k_1	0.83 min ⁻¹
5	Nilai Molaritas Konstan Untuk B → C	k_2	1.66 min ⁻¹
6	Nilai Molaritas Konstan Untuk 2A → D	k_3	0.166 mol ⁻¹ min ⁻¹
7	Nilai Pada Pengenceran	$\frac{F_s}{V}$	0.5714 min ⁻¹

III. METODE PENELITIAN

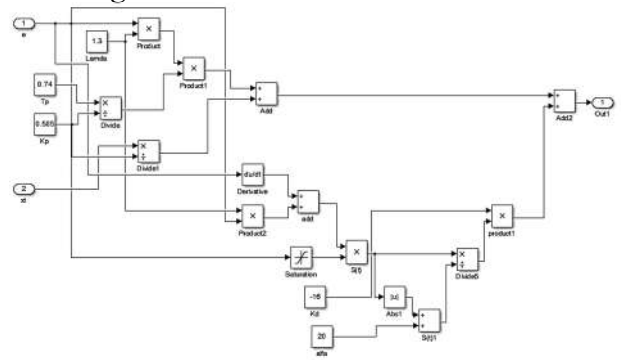


Gambar 5. Langkah Penelitian
Gambar 6. Blok Sistem Isothermal CSTR

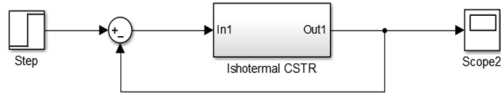


Gambar 7. Respon konsentrasi simulasi *open loop Isothermal CSTR*

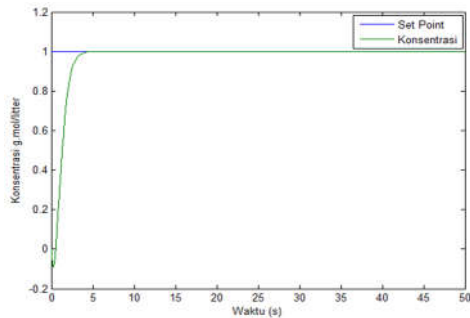
1. Sliding Mode Control



Gambar 8. Pemodelan Blok Simulink dari Persamaan Uttotal

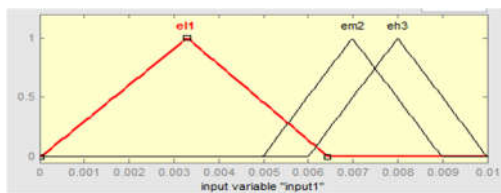


Gambar 9. Pemodelan *Sliding Mode Control* Pada Plant istem *Isothermal CSTR*

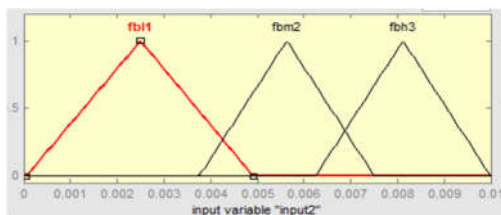


Gambar 10. Grafik Sistem *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *Sliding Mode Control*

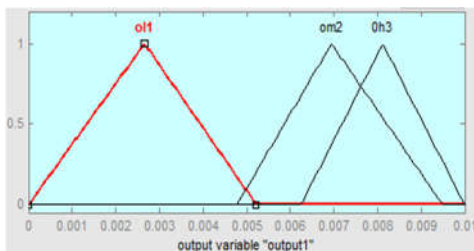
2. *Sliding Mode Control Hybrid Fuzzy Logic Controller*



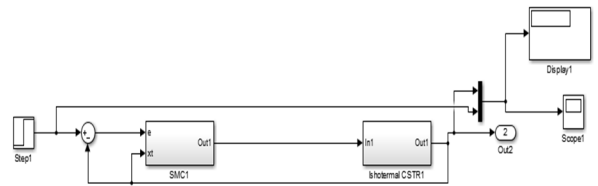
Gambar 11. Fungsi Keanggotaan *Error*



Gambar 12. Fungsi Keanggotaan *Delta Error*



Gambar 13. Fungsi Keanggotaan *Keluaran Fuzzy*

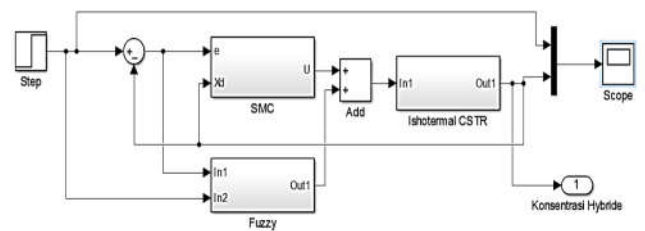


Gambar 14. *Fuzzy If- Then rules*

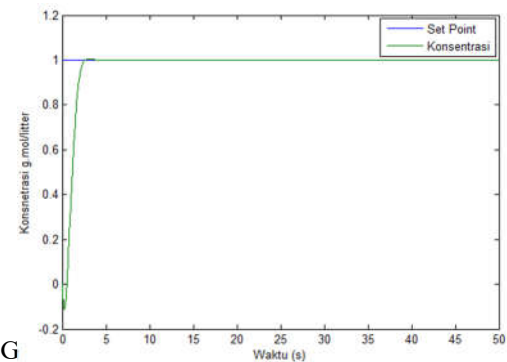
```

1. If (input1 is eh1) and (input2 is fb1) then (output1 is oh1) (1)
2. If (input1 is eh1) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
3. If (input1 is eh1) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
4. If (input1 is eh1) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
5. If (input1 is em2) and (input2 is fb1) then (output1 is oh1) (1)
6. If (input1 is em2) and (input2 is fb1) then (output1 is om2) (1)
7. If (input1 is em2) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
8. If (input1 is em2) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
9. If (input1 is eh3) and (input2 is fb1) then (output1 is om2) (1)
10. If (input1 is eh3) and (input2 is fbm2) then (output1 is om2) (1)
11. If (input1 is eh3) and (input2 is fbh3) then (output1 is oh3) (1)
    
```

IV. HASIL DAN ANALISA

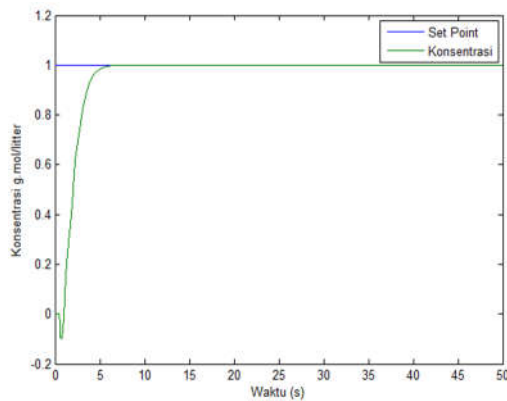


Gambar 15. Pemodelan Pengendalian *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *SMC Hybrid Fuzzy Logic*

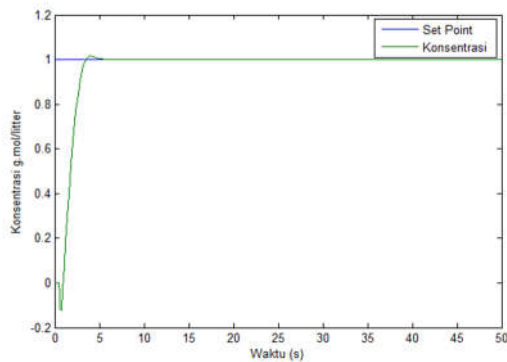


Gambar 16. Grafik Sistem *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *Sliding Mode Control Hybrid Fuzzy Logic Control*

Dari kedua pengendali diberi gangguan berupa *delay* sebesar 0.5s sehingga didapatkan respon keluaran sebagai berikut:



Gambar 17. Grafik Sistem *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *Sliding Mode Control* Dengan Variasi Delay



Gambar 18. Grafik Sistem *Isothermal CSTR* dengan Pengendali *Sliding Mode Control Hybrid Fuzzy Logic Controller* dengan Delay

V. KESIMPULAN & SARAN

Pada penelitian ini pengendali *hybrid sliding mode control* dan *fuzzy logic controller* telah mencapai nilai set point yang di inginkan yaitu 1 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 3.1174 detik, sementara pada pengendali *sliding mode control* mengalami *error steady state* sebesar 0.0004 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 3.1598 detik.

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan terhadap penelitian yang ada, dengan ditambahkan pengendali lain untuk dapat memaksimalkan hasil keluaran dari sistem *isothermal CSTR*. Adapun pengendalian sistem *isothermal CSTR* dapat dikembangkan

dengan mengendalikan variabel lainnya seperti *pressure* dan laju molaritas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia (2019). Reaktor. Wikipedia: <https://id.wikipedia.org/wiki/Reaktor> (Diakses Senin 10 April 2019)
- [2] Vishnoi, V., Padhee, S., Kaur, G. (2012). *Controller Performance Evaluation for Concentration Control of Isothermal Continuous Stirred Tank Reactor*. *International journal of Scientific and Research Publications*. Volume 2, issue 6.
- [3] Farhad Aslam, F. dan Kaur, G. (2011). *Comparative Analysis of Conventional, P, PI, PID and Fuzzy Logic Controllers for the Efficient Control of Concentration in CSTR*. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 17–No.6, March 2011.
- [4] Tham, H. J., Ramachandran, K. B. , and Hussain, M. A. (2003). *Sliding Mode Control for a Continuous Bioreactor*. Department of Chemical Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur 50603, Malaysia.
- [5] Apriyadi, B. D.(2017). *Perancangan Sliding Mode Controller Untuk Sistem Pengaturan Level dan Flow Dengan Metode Decoupling Pada Plant Coupled Tanks*. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember , Surabaya, Indonesia.
- [6] Decarlo, R. A. and Stainslaw, H. Z. (1988). *Variabel Structure Control of Nonlinear Multivariabel System: A Tutorial*. *Proceedings Of The IEEE*. Vol. 76(3). 212-232. 1988.
- [7] Slotine, J-J.E., Weiping Li. (1991). *Applied Nonlinear Control*. Prentice-Hall International, Inc.Hal. 276-284.
- [8] Pakpahan, S. (1988). *Kontrol Otomatik: Teori dan Penerapan*. Erlangga.

- [9] Palm, R., Driankov, D., dan Hellendoorn, H. (1997). *Model Based Fuzzy Control: Fuzzy Gain Schedulers and Sliding Mode Fuzzy Controllers*. Berlin: Springer-Verlag.
- [10] Ismanto, W. (2010). *Perancangan dan Simulasi Sistem Kontrol Posisi Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Sliding Mode Control (FSMC)*. Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [11] Maryaningsih, B., Hayadi, H., Suryana, E. (2013). *Implementasi Logika Fuzzy Dalam Perancangan Sistem Pemngambilan Keputusan Usulan Pemasangan Listrik Berdasarkan Distribusi Bebaln Listrik*. Universitas Dehasen, Bengkulu.
- [12] Sumarni, A. P. (2009). *Pemanfaatan Metode Newton-Raphson Dalam Perancangan Alir Tangki Berpengaduk*. Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta.
- [13] Rivaldi, R. (2017). *Tuning Kontrol PID Pada Ole Process Control (OPC) Server Dan Distributed Control System (DCS)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [14] Oscar Camacho, O., Rojas, R. (2001). *An Approach Of Sliding Mode Control For Deadtime Systems*. Universidad de los andes. Venezuela.
- [15] Triwiyatno, A. (2015). *Buku Ajar Sistem Kontrol Analog*. Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan UNDIP, Semarang.