

ANALISA PENGENDALI *HYBRID SLIDING MODE CONTROL* DAN PID UNTUK MENGENDALIKAN *CONCENTRATION* PADA *ISOTHERMAL CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)*

Ahmad Faizal¹, Dian Mursyitah², Ewi Ismaredah³, Muhammad Ikhsyan⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Suska Riau

Jl.HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293

Email. ahmad.faizal@uin-suska.ac.id, dmursyitah@uin-suska.ac.id, ewi.ismaredah@uin-suska.ac.id, Muhammad.ikhsyan13@gmail.com

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 / litter, to achieve the set point then used the controller Sliding Mode Control in Hybrid with PID in identification with FOPDT method to lower the value steady state error From the controller obtained results where the Sliding Mode Control Hybrid PID is able to not achieve set point value 1 g.mol / litter with $t_s = 3.0446$ seconds

Keywords : FOPDT, Isothermal CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor)PID, Sliding Mode Control.

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/litter, untuk mencapai *set point* maka digunakan pengendali *Sliding Mode Control* yang di *Hybrid* dengan PID yang di identifikasi dengan metode FOPDT untuk menurunkan nilai *error steady state*. Dari pengendali tersebut didapat hasil hasil dimana *Sliding Mode Control Hybrid* PID belum mampu mencapai nilai *set point* 1 g.mol/litter dengan $t = 3.0446$ detik

Kata kunci : FOPDT ,Isothermal CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) PID, Sliding Mode Control.

I. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk reactor ialah *isothermal CSTR* dimana *isothermal CSTR* adalah sejenis *CSTR* yang ada dan beroperasi pada suhu konstan. Volumennya 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)* ini 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. TINJAUAN PUSTAKA

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 di definisikan dengan persamaan sebagai berikut.

a. Sistem dinamis

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

Dimana u control input, x merupakan vector 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*-nyadapat dinyatakan dengan [10].

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

b. Fungsi Switching

Fungsi *Switching* yaitu permukaan $S(x,t)$ di dalam ruang keadaan R^n , memenuhi persamaan [10].

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

c. Permukaan *Sliding*

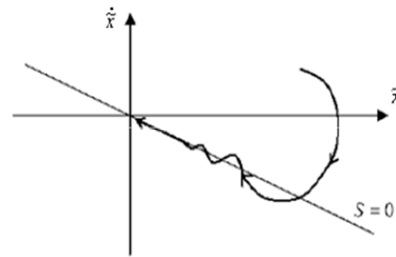
Permukaan *sliding (sliding surface)* merupakan persamaan yang memenuhi

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

d. Konidisi *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.

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



Gambar 1. Kondisi *Sliding* [10]

B. Pengendali *Proporsional Integral Derivative* (PID)

Pengendali PID merupakan pengendali otomatis yang merupakan gabungan dari pengendali *Proporsional, Integral, dan Derivatif*. Bentuk umum dari pengendali PID sebagaiberikut:

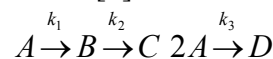
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt} \tag{6}$$

C. *Modeling & Ishotermal CSTR*

Isotermal 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 diantaranya ialah sebagai berikut *Cyclopentadine, Cyclopentenol, Cyclopentanediol, Dicyclopentadiene* [2]. Pada kondisi isotermal atau suhu tetap, suhu umpan sama dengan suhu larutan di dalam reaktor maupun suhu larutan keluar reaktor [12].

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

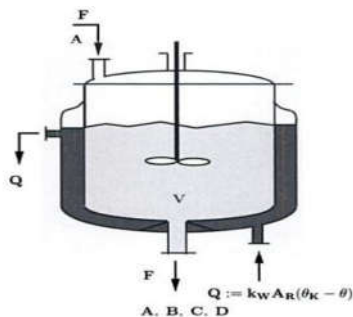


Dari skema diatas ditunjuk tahapan – tahapan terhadap laju molaritasnya, dari skema tersebut didapatlah konstantanya sebagai berikut [2]:

$$K_1 = 50h^{-1} = 0.83 \text{ min}^{-1}$$

$$K_2 = 100h^{-1} = 1.66 \text{ min}^{-1}$$

$$K_3 = 100\text{moll}^{-1} \text{ h}^{-1} = 0.166 \text{ moll}^{-1} \text{ min}^{-1}$$



Gambar 2. Representasi skema pada reaktor

Konsentrasi umpan pada *steady state* adalah $C_{Afs} = 10\text{gmoll}^{-1}$

Persamaan untuk keseimbangan keseluruhan material yang digunakan [2].

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

Jadi

$$F = F_i$$

Komponen keseimbangan material bisa juga menggunakan [2]

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F(C_{Af} - C_A) - V k_1 C_A - V k_3 C_A^2 \quad (7)$$

Untuk menyederhanakan persamaan (6) kita dapat menggunakan Persamaan yang ada pada (7) berikut adalah persamaan untuk setiap komponen kesetimbangan materialnya [2].

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

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

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

$$r_A = -k_1 C_A - k_3 C_A^2 \quad (10)$$

$$r_B = k_1 C_A - k_2 C_B \quad (11)$$

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

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

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

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* di representasikan sebagai berikut [2] (2.9)

$$u = \begin{bmatrix} \frac{F}{V} & -\frac{F_S}{V} \end{bmatrix} \quad (2.10) \quad (16)$$

Dua persamaan fungsional dinamis direpresentasikan sebagai [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

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

$$(2.12)$$

$$A_{11} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_1}{\partial C_A} \right|_{x_s, u_s} = -\frac{F_s}{V} - k_1 - 2k_3 C_{AS} \quad (20)$$

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

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

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

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

Elemen ruang pada state space Matriks B ditentukan oleh

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

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

$$B_{21} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial u_1} \right|_{x_s, u_s} = \left. \frac{\partial f_2}{\partial \left(\frac{F_s}{V} \right)} \right|_{x_s, u_s} = -C_{BS} \quad (28)$$

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

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

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

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

$$B = \begin{bmatrix} C_{Afs} - C_{AS} & \frac{F_s}{V} \\ -C_{BS} & 0 \end{bmatrix} \quad (32)$$

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

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

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

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

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

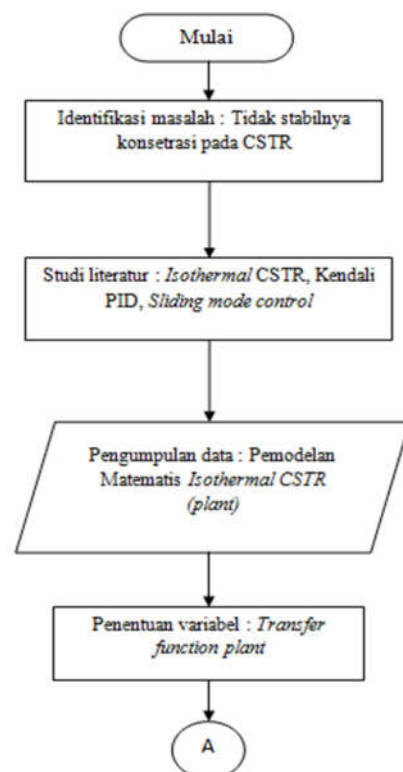
$$G_d = \frac{0.4762}{s^2 + 4.6429s + 5.3821} \quad (37)$$

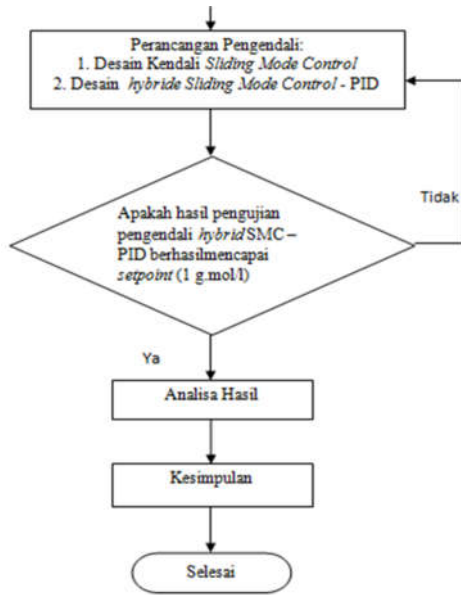
Dimana persamaan (36) adalah fungsi alih pada proses isothermal CSTR dan (37) adalah beban pada fungsi alih .

Tabel 1. Parameter Proses *Ishothermal CSTR* [2]

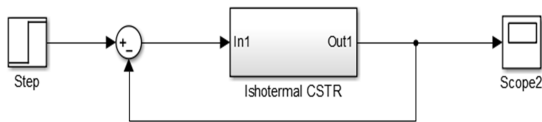
No	Parameter	simbol	Nilai
1	Steady state feed concentration	C_{A0}	10 g mol ⁻¹
2	Steady state concentration of A	C_{AS}	3 g mol ⁻¹
3	Steady State Concentration of B	C_{BS}	1.117 g mol ⁻¹
4	Rate Constant for $A \rightarrow B$	k_1	0.83 min ⁻¹
5	Rate Constant for $B \rightarrow C$	k_2	1.66 min ⁻¹
6	Rate Constant for $2A \rightarrow D$	k_3	0.166 mol ⁻¹ min ⁻¹
7		$\frac{F_s}{V}$	0.5714 min ⁻¹

III. METODE PENELITIAN

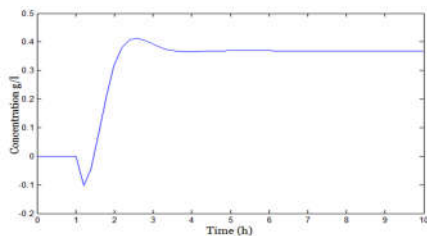




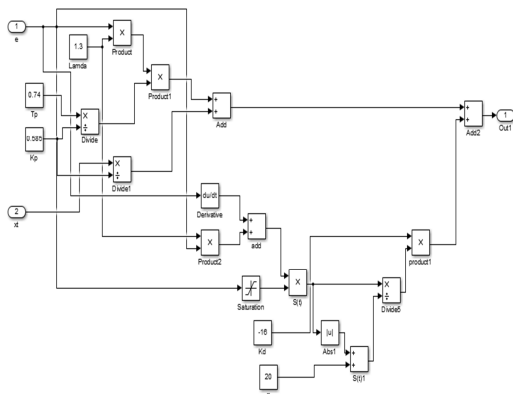
Gambar 3. Flow Chart Penelitian



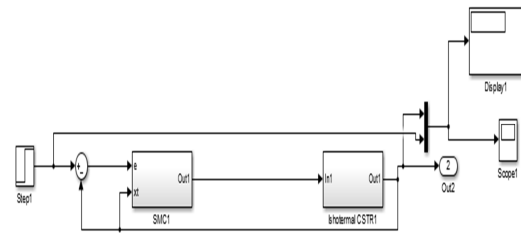
Gambar 4. Blok Sistem Isothermal CSTR



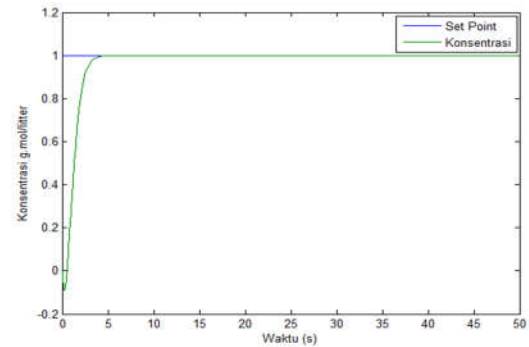
Gambar 5. Respon konsentrasi simulasi open loop Isothermal CSTR



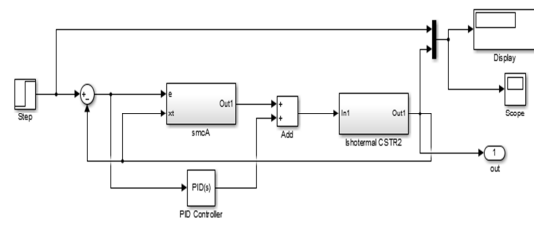
Gambar 6. Pemodelan Blok Simulink Dari Persamaan Utotal



Gambar 7. Pemodelan Sliding Mode Control Pada Plant Sistem Isothermal CSTR

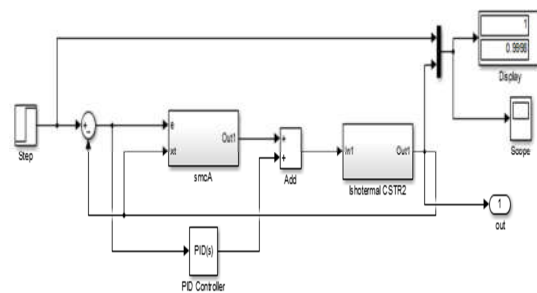


Gambar 8. Grafik Sistem Isothermal CSTR dengan Pengendali Sliding Mode Control Sliding Mode Control Hybrid PID



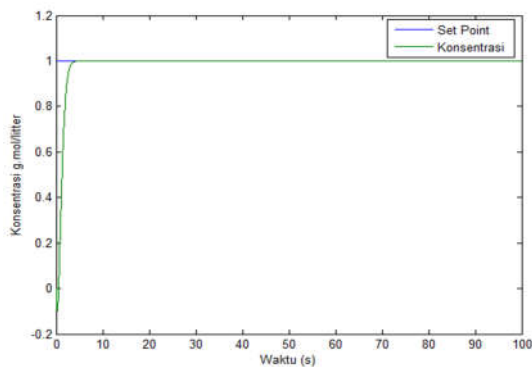
Gambar 9. Pemodelan Hybrid Sliding Mode Control Dan PID

Dari pemodelan blok sistem Simulink diatas didapatkan keluaran dan bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 10. Keluaran Pemodelan Hybrid Sliding Mode Control Dan PID

Dari model blok system diatas dapat dilihat bentuk grafik yang didapat pada variable *scope*



Gambar 11. Grafik Sistem Isothermal CSTR dengan Pengendali Hybrid Sliding Mode Control Dan PID

Dari hasil grafik respon keluaran seluruhnya didapatkanlah nilai respon transiennya pada tabel sebagai berikut

Tabel 2. Hasil Analisa Time Respon Sistem

	Pengendali	
	SMC	SMC Hybrid PID
t	1.5799 detik	1.5223 detik
ts	3.1598 detik	3.0446 detik
tr	4.652 detik	4.48 detik
td	3.925 detik	3.78 detik
ess	0.0004 g.mol/liter	0.0002 g.mol/liter

IV. KESIMPULAN & SARAN

Pada penelitian ini pengendali *hybrid sliding mode control dan PID* belum mencapai nilai set point yang diinginkan yaitu 1 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 3.0446detik dimana dengan nilai *error steady state* yang lebih kecil yaitu 0.0002 g.mol/liter, sementara pada pengendali *sliding mode control* mengalami *error steady state* sebesar 0.0004 g.mol/liter dengan waktu tunak/*settling time* 3.1598 detik.

REFERENSI

[1] Wikipedia. 2017. Reaktor. <https://id.wikipedia.org/wiki/Reaktor> (Diakses Senin 4 Desember 2017)

[2] Vishal Vishnoi, Subhransu Padhee, Gagandeep Kaur. 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 dan Gagan deep Kaur.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] H. J. Tham, K. B. Ramachandran, and M. A. Hussain. 2003. *Sliding Mode Control for a Continuous Bioreactor. Department of Chemical Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur 50603, Malaysia.*

[5] Bobby Dwi Apriyadi. 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] R. A. Decarlodan H. Z. Stainslaw., *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. *Applied Nonlinear Control. Prentice-Hall International, Inc.* Hal. 276-284.1991.
- [8] Sahat Pak pahan. 1988. Kontrol otomatis: 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] Wawan Ismanto. Perancangan dan Simulasi Sistem Kontrol Posisi Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Sliding Mode Control* (FSMC). Teknologi Sepuluh Nopember ,Surabaya, Indonesia.
- [11] Marya ningsih, B.Herawan Hayadi, Eko Suryana.2013. Implementasi Logika *Fuzzy* Dalam Perancangan Sistem Pemngambilan Keputusan Usulan Pemasangan Listrik Berdasarkan Distribusi Beban Listrik.Universitas Dehasen Bengkulu
- [12] Sumarni, Ani Purwanti, Pemanfaatan Metode Newton-Raphson Dalam Perancangan Alir Tangki Berpengaduk. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta, 2009.
- [13] Rzal Rivaldi. 2017. Tuning Kontrol PID Pada *Ole Process Control* (OPC) Server Dan *Distributed Control System* (DCS). Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).Surabaya. Indonesia.
- [14] Oscar Camacho, Ruben Rojas. *An Approach Of Sliding Mode Control For Deadtime Systems.* Universidad de los andes. Venezuela.
- [15] Ogata, Katsuhiko. *Modern Control Engineering, 4th edition.* New Jersey : Prentice Hall, 2002
- [16] Arsyad. Arfan. 2013.Matlab. [`http://arfanultras1999.blogspot.co.id/2013/03/normal-0-false-false-false-en-us-x-none.html](http://arfanultras1999.blogspot.co.id/2013/03/normal-0-false-false-false-en-us-x-none.html)