

Desain Pengendali *Hybrid* Proporsional Integral dan *Sliding mode* pada proses CSTR

Dian Mursyitah¹, Nanda Putri Miefthawati²

¹Teknik Elektro UIN SUSKA Riau

Jl. HR. Soebrantas

dmursyitah@uin-suska.ac.id

²Teknik Elektro UIN SUSKA Riau

Jl. HR. Soebrantas

nandamiefthawati@uin-suska.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengajukan desain pengendali hybrid PI dan sliding mode untuk mengendalikan level dan konsentrasi pada sistem CSTR. Metode pengendali sliding mode mampu mengatasi gangguan dan menjaga sistem tetap stabil, tetapi sliding mode juga memiliki kekurangan yaitu chattering. Chattering sebagai kelemahan dari pengendali sliding mode berdampak pada peningkatan error steady state. Sehingga, pengendali konvensional PI ditambahkan untuk mengatasi chattering dan menghilangkan error steady state. Metode penelitian dimulai dengan pemodelan matematis, perancangan dan hybrid kedua pengendali untuk mendapatkan respon yang diinginkan. Hasil simulasi menunjukkan nilai e_{ss} minimum yaitu 0,0002 untuk level dan 0,0025 untuk konsentrasi. Hal ini membuktikan bahwa pengendali hybrid PI dan sliding mode menghasilkan performansi yang lebih baik dengan waktu transient yang dua kali lebih cepat.

Kata kunci: chattering; PI; sliding mode

1. Pendahuluan

Perkembangan teknik pengendalian di dunia industri dewasa ini sangat pesat. Banyak penelitian yang telah dilakukan dalam rangka menemukan teknik kendali baru yang inovatif. Dimulai dengan pengendali konvensional *proporsional integral derivatif* (PID), kendali cerdas, pengendali *robust*, dan lain sebagainya.

Pengendali Konvensional PID telah banyak digunakan oleh para peneliti dewasa ini, masalah utama pada pengendali PID adalah *tunning* PID. Namun, berbagai metode telah ditemukan untuk menyelesaikan masalah tersebut. *Auto tuning* PID dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain PID dengan metode Ziegler-Nicols [1], Cohen-Coon, PSO [2]. Pengendali PID merupakan pengendali konvensional yang mampu menghasilkan performansi yang baik. Namun, pada umumnya PID tidak dirancang untuk sistem nonlinear dengan banyak ketidakpastian (*uncertainties*) dan tidak didesain untuk menghadapi beban yang cepat berubah.[1],[2].

Kendali cerdas merupakan salah satu pengendali yang menarik perhatian dewasa ini. Hal ini disebabkan, pengendalian menggunakan kendali cerdas mampu mengatasi persoalan model matematis yang kompleks [3]. Logika Fuzzy memiliki kelebihan dalam mengimplementasikan kecerdasan manusia dalam bahasa yang sederhana [3],[4]. Sementara, jaringan syaraf tiruan dan algoritma genetika memiliki konsep yang lebih kompleks dalam perancangannya. Kekurangan kendali cerdas adalah terbatas secara analitik.

Pengendali *robust* merupakan pengendali yang memiliki sifat kokoh terhadap ketidakpastian sistem maupun terhadap gangguan [5]. Berdasarkan banyaknya penelitian mengenai perkembangan pengendali, perlu dilakukan studi performansi pengendali untuk memilih pengendali yang tepat dalam menyelesaikan permasalahan yang muncul.

Sliding mode Controller merupakan salah satu pengendali yang dapat mengatasi permasalahan sistem non-linier. SMC terkenal akan kekokohnya dalam mengatasi gangguan internal maupun eksternal [6]. Hal ini juga dibuktikan dalam penelitian berikut : Zhang Yongchang dan Zhao Zhengming, yang telah melakukan studi komparatif terhadap tiga pengendali yaitu pengendali PI, *Fuzzy Logic* dan SMC. Hasil simulasi menunjukkan pengendali SMC menunjukkan performansi sistem yang paling baik diantara kedua pengendali lainnya baik dari sisi performansi maupun kestabilan [6]. Ramadhani K. Subroto yang mengendalikan sistem non linier yang membandingkan Optimal SMC dan LQR. Hasil simulasi menunjukkan Optimal SMC menunjukkan performansi yang lebih baik dari pengendali LQR [7]. Herlambang yang membandingkan dua metode *static* dan *dynamic sliding mode* yang menunjukkan kedua metode pengendali *sliding mode* tersebut, mampu mengatasi gangguan dan

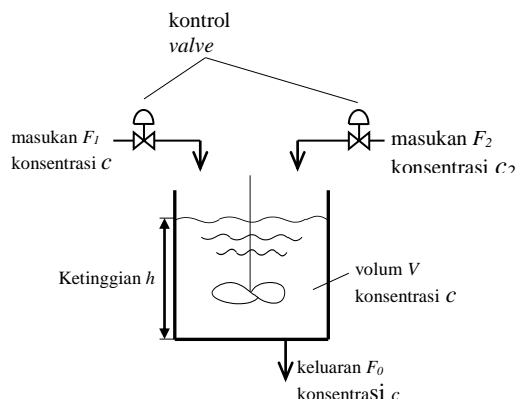
menjaga sistem tetap stabil [8]. Namun, *sliding mode* memiliki kekurangan yaitu *chattering* [10],[11]. Peningkatan *chattering* menyebabkan peningkatan *error steady state*. Untuk itu, didesain pengendali *hybrid PI* dan *sliding mode*. Pengendali PI digunakan untuk menghilangkan *error steady state* yang muncul [12]. Simulasi pengendali akan diujikan pada sistem non linier multivariabel CSTR untuk mengendalikan *level* dan konsentrasi.

2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian dimulai dengan mendapatkan pemodelan matematis dari sistem non linier multivariabel CSTR beserta *decouple* sistemnya. Selanjutnya dilakukan perancangan pengendali *sliding mode* dan pengendali PI. Kemudian sinyal kendali *sliding mode* dan sinyal kendali PI akan di *hybrid* kan untuk mendapatkan respon yang diinginkan.

2.1.Sistem CSTR

Sistem CSTR memiliki dua masukan yaitu Laju aliran (F_1) dengan konsentrasi konstan (C_1) dan Laju aliran (F_2) dengan konsentrasi bervariasi (C_2). Keluarannya adalah aliran F_0 yang mempengaruhi *level* dalam tangki, dengan perkiraan fluida dalam tangki teraduk sempurna maka aliran fluida keluaran memiliki konsentrasi C_0 yang sama dengan konsentrasi dalam tangki.



Gambar 1. Dinamika Sistem CSTR[12][13][14]

Pemodelan matematika *system* didapatkan berdasarkan hukum kesetaraan tangki dengan asumsi tidak ada material yang keluar dalam bentuk uap. *Volume* masuk – *volume* keluar = perubahan *volume* dalam tangki.

Pengendalian *Level*

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{A}(F_1 + F_2) - \frac{Kc}{A}\sqrt{H} \quad (1)$$

Pemodelan matematis konsentrasi berdasarkan kesetaraan massa

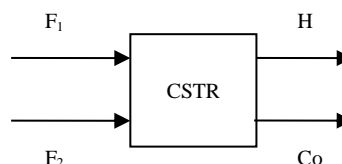
Pengendalian Konsentrasi

$$\frac{dC_0}{dt} = \frac{Kp}{AH} \{ (C_1 - C_0)F_1 + (C_2 - C_0)F_2 \} \quad (2)$$

Dengan nilai parameter ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sistem CSTR [11],[12]

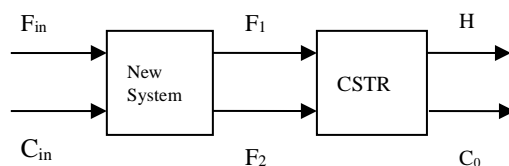
Variabel	
Laju aliran 1	$F_1 = 0.6\text{m}^3/\text{detik}$
Laju aliran 2	$F_2 = 0.15\text{m}^3/\text{detik}$
Konsentrasi 1 (konstan)	$C_1 = 1\text{kmol}^3/\text{detik}$
Konsentrasi 2 (bervariasi)	$C_2 = 1.2 - 1.4$ $\text{kmol}^3/\text{detik}$
Volume	$V = 1\text{m}^3$
Luas Tangki	$A = 1$



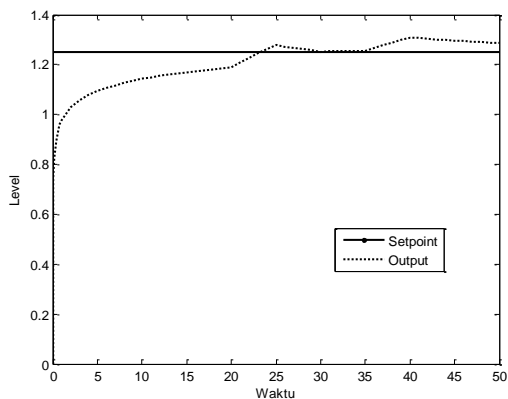
Gambar 2 Blok Diagram Sistem CSTR

Konstanta celah $K_c = 0.02 - 1$
 (beban)
 Konstanta Pengaduk $K_p = 0.2$

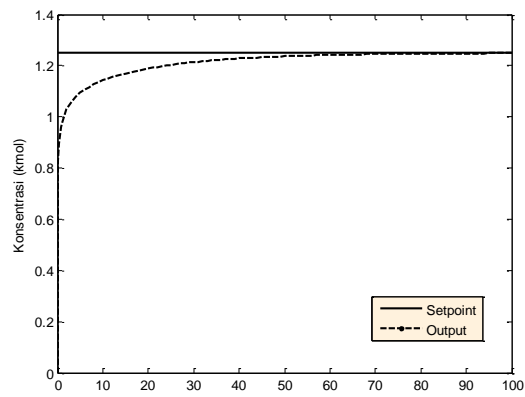
Gambar 2 menunjukkan digaram blok sederhana pengendalian *level* dan konsentrasi. Berdasarkan Gambar 2 tersebut diketahui bahwa pengendalian *level* dan konsentrasi merupakan *coupled system*. Suatu sistem disebut *coupled* apabila masukan pertama diberi gangguan maka secara langsung keluaran kedua juga akan terkena dampak gangguan tersebut, begitu pula sebaliknya. Untuk menghilangkan pengaruh *coupled* dirancang *decoupler*, sehingga pengendali dapat dirancang secara terpisah [13]. Blok diagram sistem CSTR dengan *decoupler* ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4



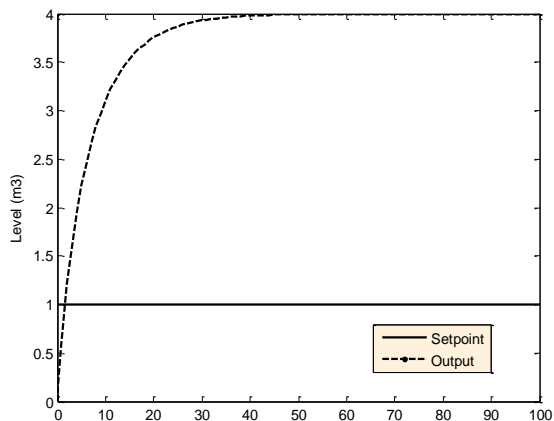
Gambar 3. *Decoupler*



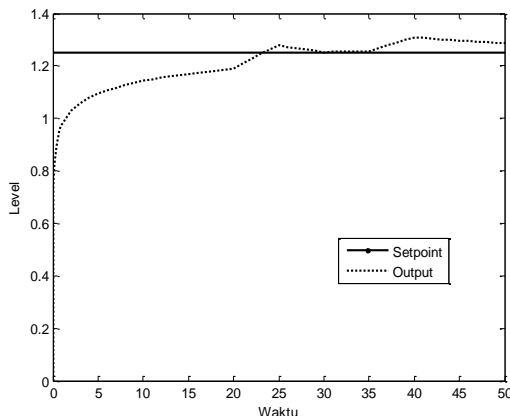
(a) Respon *level* dengan *decoupler* dan gangguan 30% dari sinyal F_{in} pada detik ke 20 sampai 40



(b) Respon Konsentrasi dengan *decoupler* dan gangguan 30% dari sinyal F_{in} pada detik ke 20 sampai 40



(c) Respon *level* dengan *decoupler* dan gangguan 30% dari sinyal C_{in} pada detik ke 20 sampai 40



(d) Respon Konsentrasi dengan *decoupler* dan gangguan 30% dari sinyal C_{in} pada detik ke 20 sampai 40

Gambar 4. Respon *level* dan konsentrasi dengan *decoupler* dan gangguan 30% dari masing -masing sinyal kendali baru F_{in} dan C_{in}

Berdasarkan hasil simulasi, ditunjukkan bahwa *decoupler* yang dirancang dapat berfungsi dengan baik. Hal ini terbukti dengan respon sistem yang dihasilkan. Gangguan yang diberikan terhadap sinyal kendali F_{in} hanya mempengaruhi keluaran *level*, sementara gangguan yang diberikan pada sinyal kendali C_{in} hanya mempengaruhi keluaran konsentrasi.

2.2. Propotional Integral Controller[11]

Pengendali Propotional dan integral merupakan kombinasi dua kendali. Kendali Integral digunakan untuk menghilangkan *error steady state*. Pemodelan matematis pengendali PI ditunjukkan pada persamaan 3.

$$u(t) = K_p e(t) + \int e(t) dt \quad (3)$$

2.3. Sliding mode Controller

Jika terdapat suatu sistem dinamis :

$$\dot{x} = f(x,t) + b(x,t)u + d(t) \quad (4)$$

dimana u adalah *control input*, x merupakan vektor keadaan, $f(x,t)$ dan $b(x,t)$ berupa fungsi terbatas, $d(t)$ adalah gangguan eksternal. Jika x_{ref} merupakan nilai yang diinginkan maka *error* dapat dinyatakan dengan

$$e(t) = x(t) - x_{ref}(t) \quad (5)$$

Fungsi *switching* yaitu permukaan luncur $S(x,t)$

$$S(x,t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e \quad (6)$$

dengan λ merupakan suatu konstanta positif, dimana fungsi *switching* ini digunakan untuk menentukan besarnya nilai u agar memenuhi kondisi *sliding*.

$$S(x,t) = 0 \quad (7)$$

Besarnya nilai *control input* pada pengendali *sliding mode* bergantung pada nilai S , sehingga disebut kondisi *sliding*. Kondisi tersebut harus memenuhi persamaan

$$\dot{S} \leq -\eta |S| \quad (8)$$

untuk suatu η konstanta positif. Prinsip kerja *sliding mode* adalah memaksa trayektori suatu sistem menuju permukaan luncur dan mempertahankannya di permukaan luncur tersebut.

$$\begin{aligned} \frac{1}{A} &= a_1 = b_2 & -\frac{Kc}{A} &= b_1 \\ -\frac{C_0 F_{in}}{H} &= a_2 & \frac{F_{in}}{AH} &= c \end{aligned}$$

Maka dapat dituliskan :

$$\dot{H} = a_1 F_{in} + b_1 \sqrt{H} \quad (9)$$

$$\dot{C}_0 = K_p a_2 b_2 + c C_{in} \quad (10)$$

Tracking *error* dari *level* adalah :

$$\tilde{H} = H_{ref} - H \quad (11)$$

karena sistem berorde 1 fungsi permukaan luncur untuk pengendali *static sliding mode* dibentuk berdasarkan tracking *error*.

$$\dot{S}_{H,t} = \dot{\tilde{H}} = \dot{H}_{ref} - \dot{H} \quad (12)$$

Substitusikan persamaan (9) ke persamaan (12):

$$\dot{S}H, t = \dot{H}_{ref} - a_1 F_{in} + b_1 \sqrt{H} \quad (13)$$

selanjutnya tentukan nilai \hat{F}_{in} dari persamaan (13) dengan $\dot{S} = 0$ sehingga diperoleh :

$$\hat{F}_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + \dot{H}_{ref}) \quad (14)$$

control law yang memenuhi kondisi *sliding* :

$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + \dot{H}_{ref}) - K \text{sign}(S) \quad (15)$$

nilai K pada persamaan harus memenuhi persamaan (8) sehingga diperoleh nilai K adalah

$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + H_{ref}) - \left| \max \frac{\eta}{a_1} \right| \text{sign}(S) \quad (16)$$

untuk mengurangi *chattering* fungsi *sign* diubah menjadi fungsi *sat*

$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + H_{ref}) - \left| \max \frac{\eta}{a_1} \right| \text{sat}(S, \varepsilon) \quad (17)$$

Dengan nilai ε dipilih 0,5 dan η dipilih 10.

Dengan langkah yang sama dengan pengendalian *level* didapat sinyal kendali konsentrasi menggunakan pengendali *sliding mode* sebagai berikut :

$$C_{in} = -\frac{1}{c} (K_p a_2 b_2 + \dot{C}_{0ref}) - \left| \max \frac{\eta}{c} \right| \text{sat}(S, \varepsilon) \quad (18)$$

Dengan nilai ε dipilih 0.5 dan η dipilih 10.

2.4. Hybrid Propotional Integral Sliding mode

Sinyal kendali *level* :

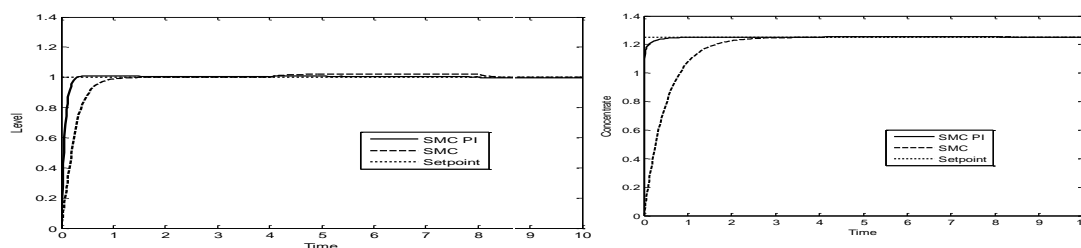
$$F_{in} = -\frac{1}{a_1} (b_1 \sqrt{H} + H_{ref} - \lambda_1 H + \lambda_1 H_{ref}) - \left| \max \frac{\eta}{a_1} \right| \text{sat}(S, \varepsilon) + K_p e(t) + \int e(t) dt \quad (19)$$

sinyal kendali konsentrasi

$$C_{in} = -\frac{1}{c} (K_p a_2 b_2 + \dot{C}_{0ref}) - \left| \max \frac{\eta}{c} \right| \text{sat}(S, \varepsilon) + K_p e(t) + \int e(t) dt \quad (20)$$

3. Hasil dan Analisa

Simulasi dilakukan dengan memberikan masukan *setpoint level* $H = 1 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan *setpoint* konsentrasi $C_0 = 1.25 \text{ kmol}^3/\text{detik}$. Gangguan yang diberikan adalah konsentrasi bervariasi dari 1.2-1.4 $\text{kmol}^3/\text{detik}$ bervariasi setiap detik ke 20 selama 100 detik dan gangguan sebesar 10% pada sinyal kontrol F_1 diberikan pada detik ke 20 sampai detik ke 40. Hasil Simulasi pengendalian *level* ditunjukkan pada Gambar 5



(a). Level

(b). Konsentrasi

Gambar 5. Perbandingan *Output Level* dan Konsentrasi menggunakan pengendali SMC dan SMC hybrid PI

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi ditunjukkan bahwa pengendali *hybrid PI sliding mode* menunjukkan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali *sliding mode*. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisa yang menunjukkan bahwa kendali PI yang dirancang mampu menurunkan *error steady state*. Pada pengendalian *level error steady state* menurun dari 0,02 menjadi 0,0056. Sedangkan untuk pengendalian konsentrasi *error steady state* menurun dari 0,0060 menjadi 0,0035. Hasil simulasi juga menunjukkan pengendali hybrid PI dan sliding mode memiliki waktu transien dua kali lebih cepat jika dibandingkan dengan pengendali sliding mode.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ziegler, J.G and Nichols, N. B. (1942). [Optimum settings for automatic controllers](#). Transactions of the ASME **64**. pp. 759–768.
- [2] Mohammad A.N, Mohammad A.K and Mohammad H.K, "Optimal Design of PID Controller for CSTR System Using Particle Swarm Optimization". 14th International power electronic and motion control Conference, EPE-PEMC.2010
- [3] Son Kuswadi, "Kendali Cerdas Teori dan Aplikasinya". Andi-Yogyakarta. 2007
- [4] Ahmad, A.dkk. *Pengendali Cerdas Berbasis Real Time Monitoring (RTM) pada Sistem Pengisian Tangki Air*, Electrical Engineering. Hasanuddin University, Makasar. 2012
- [5] Vadim Utkin, Hoon Lee, "Chattering Problem in Sliding mode Control System". The Proceedings of the 2006 International Workshop on Variable Structure Systems Alghero, Italy. IEEE. June 5-7, 2006
- [6] Zhang Yongchang, Zhao Zhengming, "Comparative study of PI, Sliding mode and Fuzzy Logic Controller for Rotor Field Oriented Controlled Induction Motor". The State Key Laboratory of Power System, China. IEEE. 2011
- [7] Subroto, Kurniawan R, "Peningkatan Performansi Pengaturan Posisi Motor DC untuk Sistem Tracking Menggunakan Kontroler Optimal *Sliding mode*", 1st student conference on satellite. Surabaya. 2012
- [8] Herlambang, Teguh. *Desain Pengendalian Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada Sistem Steam Drum Boiler dengan Metode Sliding mode Control (SMC)*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya. 2010
- [9] Kyoung Joo Kim, Jin Bae Park, Yoon Ho Choi. "Chattering Free Sliding mode Control", SICE-ICASE International Joint Conference. Bexco, Busan, Korea. IEEE. Oct 18-21, 2006
- [10] Leonid M. Fridman, Pedro Acosta, "Chattering in Sliding mode Control Systems with Fast Actuators". COC 2000, St. Petersburg, Russia. IEEE 2000
- [11] Ogata, K, *Modern Control Engineering*. Prentice-Hall. New Delhi. 2002
- [12] Mursyitah, Dian, "Desain decouple sliding mode pada sistem non linier multivariable CSTR", SENAKI, Surabaya.
- [13] Mursyitah, Dian, "Desain *Decoupler* untuk Variabel *Level* dan Konsentrasi pada Sistem Non Linier Multivariabel Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)" Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI), 2013
- [14] Luyben. W.L. "Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers", Mcgraw Hill International Edition. Second Edition. 1999.