

Sistem Kontrol Ketinggian Air pada Sistem Dua Tanki dengan Menggunakan Metode Proporsional Integral (PI) Adaptif

¹Anisa Ulya Darajat, ²Swadexi Istiqphara

¹Universitas Lampung, ²Institut Teknologi Sumatera

*Corresponding author, e-mail: anisa.ulya@eng.unila.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas sistem kendali PI adaptive untuk mengendalikan ketinggian air pada dua tanki yang saling berhubungan. Sistem dua tanki merupakan sistem dengan tanki yang saling berkait, sistem ini biasa digunakan dalam industri sebagai suatu kesatuan sistem yang menampung zat kimia. Permasalahan yang sering terjadi adalah tidak sesuainya parameter ketika awal mulai sistem dinyalakan dan ketika sistem sudah berjalan, permasalahan ini dalam sistem proses disebut sebagai ketidakpastian parameter sistem. Adapun Penelitian ini bertujuan untuk menguji sistem kendali PI adaptive yang akan di implementasikan pada tanki agar dapat menyesuaikan perubahan parameter pada tanki sehingga pengisian tanki tetap terkendali dengan baik. Penelitian Sistem dua tanki ini juga dapat memberikan kontribusi di bidang pendidikan sebagai media praktikum sistem kendali, karena sistem dua tanki ini dapat dibuat dengan peralatan yang mudah dijangkau. Sistem kendali Proporsional Integral (PI) adaptif yang digunakan pada penelitian ini menggunakan algoritma penala *Frèchet* untuk mengubah *gain* PI sesuai dengan kondisi *plant* yang sedang di kontrol. Untuk menguji metode yang diusulkan, dilakukan pengujian dengan menggunakan simulasi pada komputer dan juga pada penelitian ini akan dibandingkan hasil simulasi dengan metode sistem kendali PI dengan *gain* statis. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa metode PI adaptif efektif untuk mengendalikan ketinggian air pada tanki air, dan juga efektif dalam menstabilkan sistem ketika terjadi perubahan parameter ketika sistem sedang berjalan dalam waktu 100 detik. Adapun dengan menggunakan metode PI gain statis, performa sistem lebih lambat dalam menstabilkan sistem yaitu sekitar 250 detik.

Kata kunci: adaptif, tanki, *Frèchet*, proporsional, integral.

Abstract

*This research discusses the adaptive Proportional Integral (PI) control system to control the water level in coupled tanks. The coupled tank system is tank system consist of two interconnected tank, this system is commonly used in industry as a unified system for storing chemical substances. The problem that often occurs is the parameters changes when the system starts up and when the system is running, this problem in the process system is referred to as system parameter uncertainty. This research aims to test the adaptive PI control system that will be implemented in the tank so that it can adjust the parameter changes in the tank so that the tank filling remains well controlled. Research This two tank system can also contribute in the field of education as a control system practicum media, because this two tank system can be made with easily accessible equipment. The adaptive Proportional Integral (PI) control system used in this study uses the *Frèchet* tuner algorithm to change the PI gain according to the conditions of the plant being controlled. To test the proposed method, testing using computer simulation and also in this study will be compared the simulation results with the PI control system method with a static gain. From the simulation results, it is found that the adaptive PI method is effective for controlling the water level in the water tank, and is also effective in stabilizing the system when the parameter changes when the system is running within 100 seconds. As for using the static gain PI method, the system performance is slower to stabilize the system, which is about 250 seconds*

Keywords: adaptive, tank, *Frèchet*, proportional, integral.

PENDAHULUAN

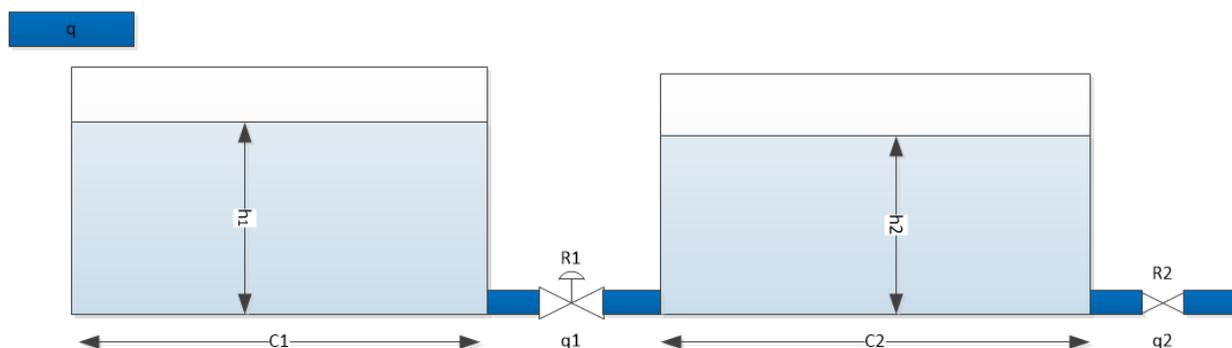
Metode sistem kendali merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengendalikan suatu objek dengan tujuan atau objektif tertentu, umumnya adalah agar nilai aktual sesuai dengan nilai target yang ditentukan oleh pengguna. Terdapat beberapa metode sistem kendali yang sudah ditemukan dan digunakan di berbagai bidang termasuk di industri. Metode Proporsional Integral dan Derivatif (PID) sangat banyak digunakan di industri sejak delapan dekade yang lalu. PID digunakan lebih dari 90% pada industri karena kemudahan dalam penggunaan dan minimal komputasinya [1-4]. Perkembangan terkait metode PID juga semakin meningkat, dimana pada awalnya gain pada PID tetap dan diatur oleh pengguna, kemudian mulai diteliti dan dikembangkan dengan berbagai metode tambahan. Penelitian terkait lainnya membahas tentang metode PI adaptif yang mampu menyesuaikan terhadap gangguan sekitar metode PI adaptif ini digunakan pada pengendalian *Bicarbonate* [5]. Metode PID juga dikembangkan dengan menggunakan metode kecerdasan yaitu gain PID di atur oleh metode logika fuzzy yang mengadopsi pengetahuan manusia sebagai basis aturan (*expert rule base*)[6].

Penelitian terkait pengendalian tanki zat cair juga sudah banyak dilakukan, sebagai contoh pada [7] menggunakan metode PID untuk mengendalikan ketinggian air pada dua tanki air dimana tanki yang bawah digunakan sebagai tanki penampung, sedangkan tanki atas digunakan untuk pengukuran ketinggian air. Dari hasil pengujian nya diperoleh gain PID dan gain PI yang tepat untuk sistem tersebut dengan performa yang baik namun tidak diuji ketika terjadi perubahan parameter di tanki nya. Pada [8] menggunakan metode kendali cerdas yaitu metode logika fuzzy untuk mengendalikan dan mempertahankan ketinggian air. Respon yang dihasilkan cukup cepat namun masih lebih lambat dibandingkan dengan kontroller PI. Hal ini dikarenakan pada sistem Fuzzy membutuhkan proses yang lebih lama karena harus memeriksa setiap basis aturan. Sistem pengisian air dua tanki merupakan sistem yang mudah untuk dibuat, sehingga dapat digunakan untuk keperluan praktikum mata kuliah sistem kendali.

Pada penelitian ini membahas terkait penggunaan metode sistem kendali PI adaptif untuk mengendalikan ketinggian air pada 2 tanki air yang saling berhubungan. Untuk menguji metode yang diusulkan, dilakukan pengujian dengan menggunakan simulasi pada komputer dan akan dibandingkan hasil simulasi dengan metode sistem Kendali PI dengan gain statis.

METODE

Pada penelitian ini metode yang diusulkan untuk mengendalikan sistem dua tanki akan diuji melalui simulasi pada komputer. Untuk melakukan simulasi maka diperlukan pemodelan sistem terlebih dahulu. Pemodelan sistem merupakan suatu langkah untuk mendapatkan persamaan matematika dari suatu plant atau objek yang ingin dikendalikan. Pemodelan sistem menggunakan prinsip-prinsip dan hukum fisika sebagai dasar pemodelannya. Pemodelan sistem dua tangki untuk sistem dua tanki seperti pada gambar 1 yaitu [9-10] :



Gambar 1. Sistem Dua tanki

Pemodelan untuk tanki 1 yaitu

$$C_1 \frac{dh_1}{dt} = q - q_1 \quad (1)$$

Dimana $\frac{h_1 - h_2}{R_1} = q_1 \quad (2)$

Maka $R_1 C_1 \frac{dh_1}{dt} = R_1 q - h_1 - h_2 \quad (3)$

Pada tanki 2,

$$C_2 \frac{dh_2}{dt} = q_1 - q_2 \quad (4)$$

dimana $\frac{h_2}{R_2} = q_2 \quad (5)$

diperoleh $R_2 C_2 \frac{dh_2}{dt} + \frac{R_2}{R_1} h_2 + h_2 = \frac{R_2}{R_1} h_1$ dan dengan substitusi nilai h_1 dari pers (3) maka diperoleh :

$$h_2(s)(C_1 R_1 C_2 R_2 S^2 + C_1 R_1 S + R_2 C_1 S + C_2 R_2 S + 1) = R_2 Q_{in}(s) \quad (6)$$

Dalam bentuk fungsi alih yaitu

$$\frac{h_2(s)}{q} = \frac{R_2}{C_1 R_1 C_2 R_2 S^2 + S(C_1 R_1 + C_2 R_2 + C_2 R_2) + 1} \quad (7)$$

Tabel 1. Nilai parameter sistem [9]

Parameter	Nilai	Satuan
h_1	30.0	cm ²
h_2	15.0	cm ²
R_1	0.010	cm ² /detik
R_2	0.010	cm ² /detik
C_1	250.0	cm
C_2	250.0	cm

Adapun metode yang digunakan pada paper ini adalah metode PID dengan gain Konstanta Proporsional (Kp), Integral (Ki), yang mampu melakukan penalaan sendiri sesuai keadaan plant. Sehingga PID mampu menyesuaikan sinyal input dengan kebutuhan plant agar dapat mengikuti referensi yang diberikan dengan minimum error. Persamaan Sistem Kendali PI dinyatakan pada persamaan (8) berikut :

$$u = Kp * e + Ki * \int e \quad (8)$$

Dengan $e = q_{target} - q_{actual}$ merupakan error yang didefinisikan sebagai selisih antara state target(q_t) dengan state aktual(q_a). Adapun persamaan untuk mengatur gain PID diturunkan dengan persamaan berikut ini [11]:

1. Tentukan fungsi objektif untuk mencari nilai error menjadi minimal
 $J = \min(e^2) = \min((q_t - q_a)^2)$
2. Dengan menggunakan Algoritma *Frèchet Tuning* diperoleh persamaan perubahan nilai Kp, Ki, dan Kd adalah sebagai berikut :

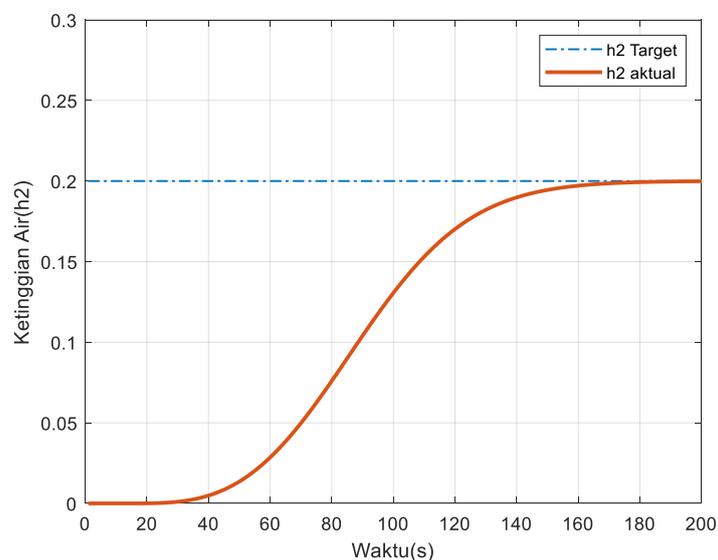
$$\begin{aligned} \dot{K}_p &= -\gamma e y_1 \\ \dot{K}_i &= -\gamma e y_2 \\ \dot{K}_d &= -\gamma e y_3 \end{aligned} \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, hasil diperoleh dengan menggunakan simulasi pada komputer. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode Adaptive PID digunakan untuk dua buah keadaan.

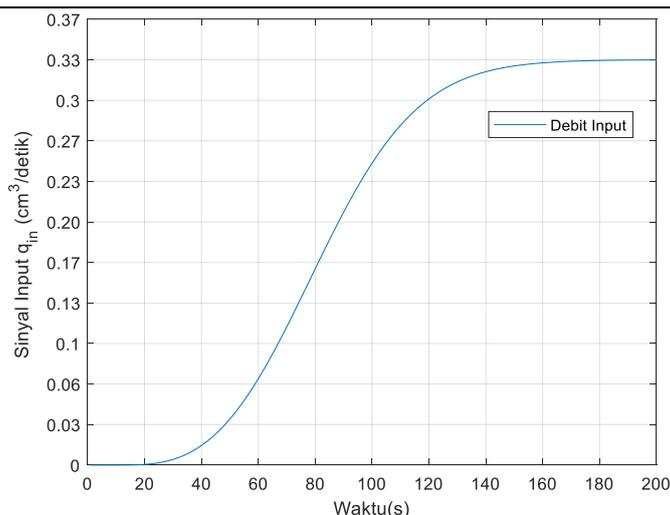
- 1) Skenario #1 merupakan keadaan dimana akan dilakukan pencarian gain PID pada saat sistem baru dimulai dengan gain awal $K_p = 0$, $K_i = 0$. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan Adaptive PID dalam mencari gain PID ketika sistem baru mulai bekerja.
- 2) Skenario #2 merupakan keadaan dimana akan dilakukan pencarian gain PI dengan kondisi sistem sudah *steady state* namun kemudian terdapat gangguan atau perubahan parameter yang tidak diketahui. Gain PID awal yang digunakan adalah gain PI terbaik dari skenario #1. Sedangkan gangguan yaitu berkurangnya nilai parameter A yang merupakan luas penampang tanki, hal ini dikarenakan oleh penambahan material lain yang juga akan mempengaruhi volume tanki. Besar nilai pengurangan luas pada tanki 2 adalah sebesar -15%. Sistem akan diuji apakah sistem dapat kembali ke kondisi *steady state* atau tidak.

Pengujian simulasi dilakukan dengan waktu 200 detik, dan diperoleh hasil pengujian dengan menggunakan target ketinggian akhir sebesar 0.2 dari maksimum ketinggian adalah 0,3 pada skenario #1 seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 :



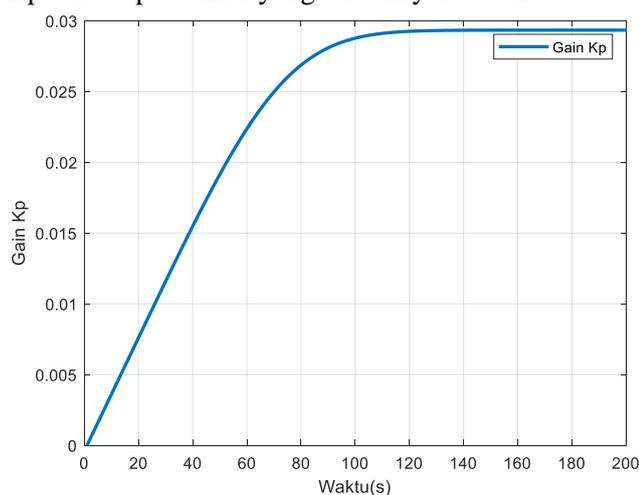
Gambar 2. Grafik pergerakan ketinggian air

Pada gambar diatas menunjukkan grafik pergerakan ketinggian air terhadap waktu, dari grafik dapat dilihat bahwa ketinggian air mencapai target pada detik ke 170. Sedangkan grafik Pengisian air mulai muncul pada detik ke 16. Hal ini dikarenakan gain awal K_p , K_i dan K_d bernilai 0, sehingga membuat pengisian awal dengan pembukaan kran yang sangat kecil karena sinyal input yang diberikan juga kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



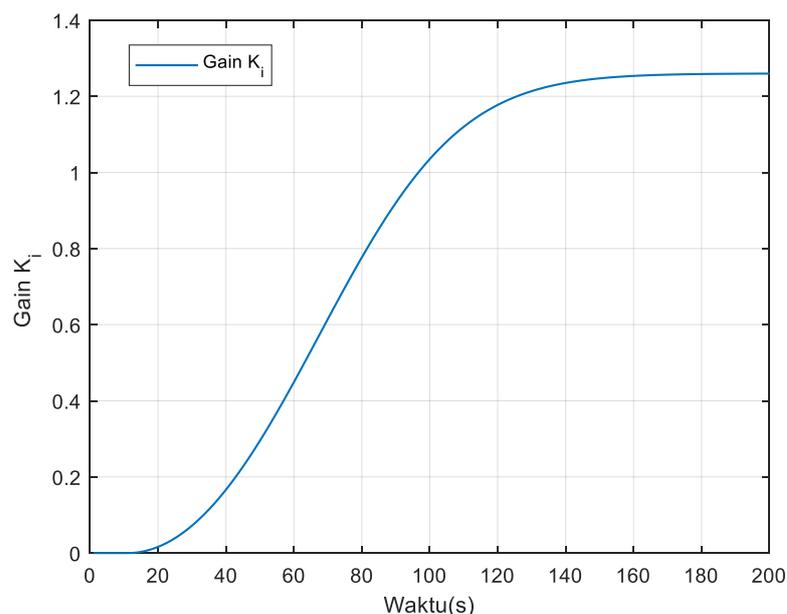
Gambar 3. Sinyal Input Tank 2 (q_{in})

Pada gambar tersebut menunjukkan sinyal masukan yang berupa laju aliran air pada tank 1 mulai muncul pada detik ke 20. Hal ini dikarenakan pengaruh dari gain PID yang juga berubah dari nilai 0 hingga diperoleh gain yang sesuai dengan sistem memiliki kecepatan yang lambat dikarenakan oleh pengaruh nilai koefisien penala yang bernilai $\mu=0.01$. Grafik perubahan nilai Kp ditunjukkan pada Gambar 4. Dari Gambar tersebut menunjukkan bahwa grafik *gain* Kp berada pada nilai yang terbaik yaitu 0.029.



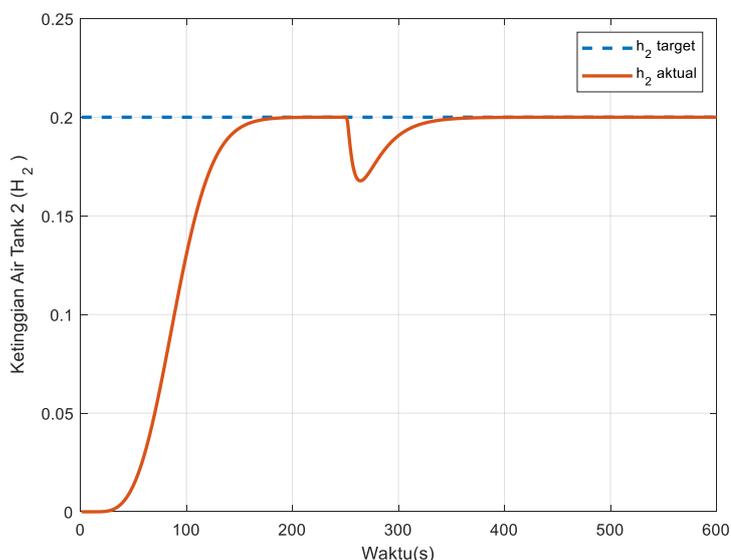
Gambar 4. Perubahan Gain Kp

Pada Gambar 5 merupakan grafik perubahan gain Konstanta Integral (Ki) terhadap waktu, dari gambar menunjukkan nilai gain Ki lebih besar dibandingkan gain Kp, dan gain Ki berhenti berubah pada nilai $Ki=1.26$.



Gambar 5. Perubahan Gain K_i

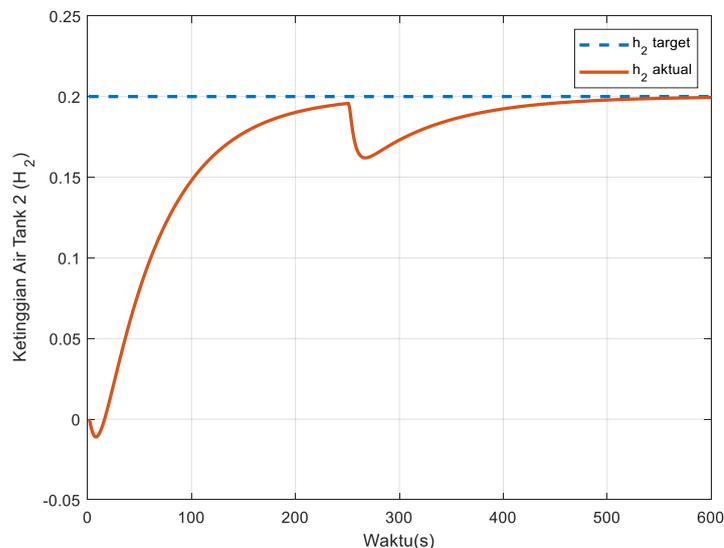
Dari hasil percobaan diatas menunjukkan bahwa gain paling optimal adalah pada nilai $K_p = 0.029$ dan $K_i = 1.26$. Nilai gain ini akan digunakan digunakan untuk nilai PID statis yang akan dibandingkan dengan performa sistem dengan menggunakan PID adaptive seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6



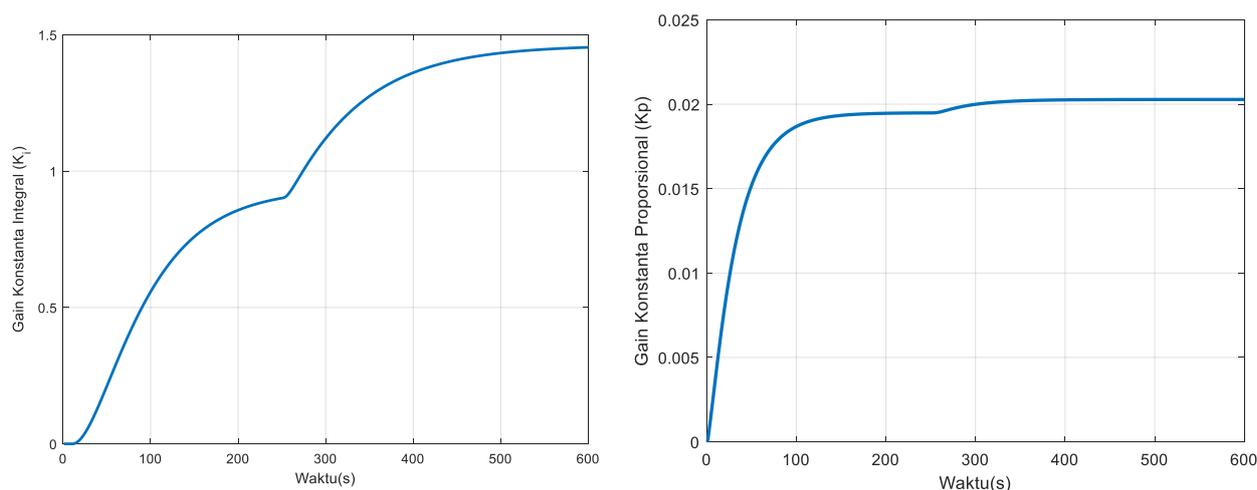
Gambar 6. Respon Sistem dengan menggunakan Adaptive PID

Pada Gambar 6 merupakan respon sistem dengan menggunakan Adaptive PID dengan gain awal 0 dan terdapat perubahan parameter pada detik ke 250 berupa sinyal step pengurangan sebesar 25% volume air. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sistem kendali adaptive PID dapat mengembalikan posisi ketinggian air ke target dalam waktu 100 detik. Sedangkan pada Gambar 7 merupakan grafik performa sistem dengan menggunakan sistem kendali PID dengan gain yang diperoleh pada skenario #1. Dari gambar tersebut terlihat dengan sistem kendali yang statis ketika terjadi gangguan pada detik ke 250, sistem tetap dapat kembali ke target namun dalam waktu ± 250 detik. selain itu ketika sistem menggunakan sistem kendali

PID gain statis, performa sistem ketika beberapa detik mulai menunjukkan performa $e \rightarrow \sim$ namun kemudian dapat kembali ke performa dimana $e \rightarrow 0$



Gambar 7. Respon Sistem dengan menggunakan PID gain $K_p=0.03$ dan $K_i = 1.26$



Gambar 8. Perubahan Gain K_i dan K_p

Pada Gambar 8 merupakan grafik pergerakan gain Konstanta Integral dan Konstanta Proporsional, terlihat kedua gain mengalami perubahan ketika terjadi gangguan pada detik ke 250. Hal ini menunjukkan bahwa metode adaptive mampu menyesuaikan keadaan supaya luaran sistem menjadi lebih baik.

PENUTUP

Penelitian ini merupakan penggunaan metode kendali PI adaptive untuk mengendalikan volume 2 tanki telah dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode Fréchet Tuning menunjukkan bahwa gain K_p , K_i dapat berubah nilainya ketika sistem baru mulai berjalan. Dengan menggunakan sistem kendali PI adaptive menunjukkan respon sistem mampu kembali dengan cepat karena nilai K_p dan K_i juga diperbesar, meskipun demikian, nilai perbesaran tersebut tidak mengakibatkan sistem menjadi Agresif dan mengakibatkan overshoot. Pengujian juga dibandingkan dengan menggunakan metode kendali PI dengan gain statis yang diperoleh pada skenario #1, dari hasil simulasi menunjukkan bahwa respon sistem lambat dalam mengembalikan posisi state ke posisi semula. Dari hasil

pengujian ini menunjukkan sistem kendali PI Adaptive berhasil mengendalikan 2 tanki air meskipun terdapat perubahan parameter ketika proses berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Swder, G.Wszoek, W.Carvalho, "Programmable controller design Electropneumatic Systems," Journal of Material Processing Technology 164-1655 (2005) 14659-1465.
- [2] L. Xu and F. Ding, "Design of the PID controller for industrial processes based on the stability margin," 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Yinchuan, China, 2016, pp. 3300-3304, doi: 10.1109/CCDC.2016.7531552.
- [3] K.J. Aström and T. Hägglund, "The future of PID controller", Control Engineering Practice, vol. 9, no. 12, pp. 1163-1175, 2001.
- [4] Carl Knopse, Guest Editor, PID Control, IEEE Control System Magazine, February 2006.
- [5] C. Hernandez, "A new adaptive PI for bicarbonate regulation in an anaerobic digestion process", Asian Journal of Control, vol. 13, no. 6, pp. 785-796, 2011.
- [6] Yu Chen and Sangchul Won, "Simple fuzzy PID controller tuning of integrating process with dead-time," 2008 International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea (South), 2008, pp. 618-622, doi: 10.1109/ICCAS.2008.4694576.
- [7] Thiang, Thiang, et al. "Pengaturan Level Ketinggian Air Menggunakan Kontrol PID." Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, vol. 4, no. 2, Sep. 2004,
- [8] Y. Edwar, "Penerapan Kendali Cerdas Pada Sistem Tangki Air Menggunakan Logika Fuzzy" , Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia, 2 Desember 2009.
- [9] F.A Mostafa, G.M. Aboubaker, "PID Controller Design for Two Tanks Liquid Level Control System using Matlab", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Juni 2015.
- [10] O. Katsuhiko, "Modern Control Engineering 4th Edition", Prentice Hall. 2002.
- [11] Feng Lin, R. D. Brandt and G. Saikalas, "Self-tuning of PID controllers by adaptive interaction," Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No.00CH36334), Chicago, IL, USA, 2000, pp. 3676-3681 vol.5, doi: 10.1109/ACC.2000.879256.

Biodata Penulis

Anisa Ulya Darajat, Memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro (S.T) di Universitas Lampung pada tahun 2012. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan S2 di Magister Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016. Dan Mengajar di Teknik Elektro Universitas Lampung sejak tahun 2019.

Swadexi Istiqphara, Mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro (S.T) di Universitas Lampung pada tahun 2012. Dan kemudian menyelesaikan pendidikan S2 (M.T) di Magister Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Dan menjadi staf pengajar di Teknik Elektro Institut Teknologi Sumatera sejak tahun 2018.