

Analisis Kinerja Kendali Fuzzy PID pada Sistem Pengendalian Level Deaerator Menggunakan Matlab

Arsy Febrina Dewi¹, Yuli Mauliza², Ghiyalti Novilia³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

¹arsyfebrinadw@pnl.ac.id*, ²maulizayuli1998@pnl.ac.id, ³novilia@pnl.ac.id (beri tanda * jika penulis koresponding)

Abstract

A deaerator is a boiler component responsible for removing oxygen and other gases from the water used to generate steam. Steam is used to heat the water and strip away dissolved gases—such as oxygen (O₂) and carbon dioxide (CO₂)—that could otherwise cause corrosion within the boiler system. Deaerator control affects both water heating and liquid levels; therefore, it is necessary to develop a simulation system for deaerator level control using MATLAB. The process involves establishing a level setpoint and modeling the deaerator, followed by determining the PID parameters (K_p, K_i, and K_d) and designing the fuzzy controller. Subsequently, simulations are conducted in MATLAB to evaluate system responses, including rise time, settling time, overshoot, and steady-state error. Based on the test results, it can be concluded that both Fuzzy-PID and conventional fuzzy controllers are capable of tracking setpoint changes and maintaining the level at a steady state with near-zero steady-state error. The Fuzzy-PID controller demonstrates a faster response to setpoint changes compared to the conventional fuzzy controller, although it exhibits slightly higher overshoot and undershoot during these transitions. In contrast, the conventional fuzzy controller provides a smoother response with smaller transient deviations but requires more time to reach a steady state.

Keywords: deaerator, boiler, PID, matlab, fuzzy

Abstrak

Deaerator merupakan komponen boiler yang bertugas untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lain dalam air yang selanjutnya akan digunakan untuk menghasilkan uap. Uap dapat memanaskan air dan menghilangkan gas terlarut yang terkandung didalamnya seperti oksigen (O₂) dan karbon dioksida (CO₂) yang dapat menyebabkan korosi pada sistem boiler. Pengendalian Deaerator dapat memanaskan boiler dan berpengaruh terhadap level cairan. Untuk itu perlu dibuat suatu sistem simulasi pengendalian level deaerator menggunakan matlab. Proses menetapkan setpoint level dan melakukan pemodelan deaerator. Selanjutnya dilakukan penentuan parameter PID (k_p, k_i, dan k_d) serta fuzzy controllernya. Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi menggunakan Matlab untuk menguji respon sistem seperti *rise time*, *settling time*, *overshoot*, dan *steady state error*. Berdasarkan hasil pengujian sistem pengendalian level deaerator dapat disimpulkan bahwa Fuzzy-PID dan Fuzzy konvensional, mampu mengikuti perubahan *setpoint* dan mempertahankan level pada kondisi tunak dengan *steady-state error* yang mendekati nol. Fuzzy-PID menunjukkan respons yang lebih cepat dalam mengikuti perubahan dibandingkan Fuzzy konvensional. Namun, respons Fuzzy-PID menghasilkan *overshoot* dan *undershoot* yang sedikit lebih besar pada saat terjadi perubahan *setpoint*. Sementara itu, Fuzzy konvensional memberikan respons yang lebih halus dengan penyimpangan transien yang lebih kecil, tetapi membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kondisi tunak.

Kata kunci: deaerator, boiler, PID, matlab, fuzzy

1. Pendahuluan

Sistem kendali merupakan salah satu aspek penting dalam berbagai proses industri. Pengendalian penting dilakukan agar suatu sistem dapat bekerja dengan stabil sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Salah satu jenis sistem pengendalian yang sering digunakan di industri adalah *closed-loop* (loop tertutup), yaitu sistem memanfaatkan sinyal umpan balik (*feedback*) untuk

membandingkan keluaran actual dengan nilai referensi [1]. Selisih antara keluaran actual dengan nilai referensi (error) digunakan sebagai tindakan koreksi, untuk mengurangi penyimpangan selama proses berlangsung. Sistem pengendalian seperti ini juga terjadi pada sistem daerator suatu industri.

Deaerator merupakan komponen boiler yang bertugas untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lain

dalam air yang selanjutnya akan digunakan untuk menghasilkan uap. Uap dapat memanaskan air dan menghilangkan gas terlarut yang terkandung didalamnya seperti oksigen (O^2) dan karbon dioksida (CO^2) sehingga dapat mengorosi boiler yang terbuat dari logam [2]. Hal ini tentu dapat mengurangi efisiensi operasional dan memerlukan perawatan yang besar untuk komponen-komponennya. Deaerator juga berfungsi sebagai pemanas awal pada air kondensat sebelum di proses kedalam sistem blower. Jika deaerator tidak bekerja dengan baik, dapat berdampak buruk pada sistem boiler.

Namun proses pemanasan yang terjadi dapat mengubah volume air di dalam boiler, dan berpengaruh terhadap level air deaerator agar tetap stabil. Untuk itu, dirancang suatu sistem pengendalian level air deaerator berbasis fuzzy menggunakan Matlab. Pengendalian berbasis fuzzy dilakukan sebagai pendekatan kendali berbasis aturan (rules) yang memanfaatkan nilai error dan perubahan error [3].

1.2. Tinjauan Literature

Sistem Kendali

Sistem Kendali adalah cabang ilmu teknik yang mempelajari cara merancang, menganalisis, dan mengatur perilaku sistem dinamis agar mencapai kinerja yang diinginkan. Sistem kendali menggunakan prinsip umpan balik, yaitu proses di mana output sistem diukur dan dibandingkan dengan nilai yang diharapkan, kemudian sinyal kesalahan tersebut digunakan untuk mengatur input agar sistem dapat beroperasi sesuai target. Komponen utama dalam sistem kendali meliputi pengendali (controller) yang memproses sinyal kesalahan, aktuator yang menggerakkan sistem fisik (plant), dan sensor yang mengukur output sistem untuk memberikan informasi umpan balik. Sistem kendali dapat berupa open-loop (tanpa umpan balik) atau closed-loop (dengan umpan balik), di mana sistem closed-loop lebih umum digunakan karena kemampuannya untuk menyesuaikan diri terhadap gangguan dan perubahan kondisi [6]

Fungsi Transfer

Fungsi transfer adalah konsep fundamental dalam teknik sistem kendali yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan matematis antara input dan output suatu sistem dinamis dalam domain frekuensi (domain Laplace). Fungsi transfer memudahkan analisis dan desain sistem kendali dengan menyederhanakan persamaan diferensial yang kompleks menjadi bentuk aljabar yang lebih mudah dikelola.

Fungsi transfer $G(s)$ didefinisikan sebagai rasio transformasi Laplace dari output sistem $Y(s)$ terhadap

input sistem $U(s)$, dengan asumsi kondisi awal sistem bernilai nol.

Fungsi transfer biasanya dinyatakan dalam bentuk rasio polinomial:

Fungsi transfer adalah alat matematis yang sangat penting dalam teknik sistem kendali untuk merepresentasikan dan menganalisis sistem dinamis linier. Dengan fungsi transfer, dapat dilakukan analisis kestabilan, simulasi respons, dan desain pengendali secara efisien dan intuitif. Penggunaan fungsi transfer juga sangat didukung oleh perangkat lunak seperti Matlab yang menyediakan berbagai fungsi untuk pembuatan, analisis, dan simulasi fungsi transfer [7].

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + \dots + b_0}{a_n s^n + \dots + a_0}$$

Tangki Daerator

Tangki Deaerator merupakan perangkat yang digunakan yang berfungsi untuk menghilangkan gas terlarut di air. Ini biasanya terdapat pada boiler uap yang berguna untuk menghilangkan oksigen dan karbon dioksida terlarut yang dapat menyebabkan korosi. Air atau cairan apa pun yang digunakan sebagai media perpindahan panas umumnya mengandung oksigen dan gas-gas lain yang tidak dapat terkondensasi di dalamnya. Gas-gas yang terlarut dalam cairan ini bertindak sebagai isolasi terhadap perpindahan panas. Karena adanya gas-gas ini dalam cairan, laju perpindahan panas dari bahan bakar ke cairan umumnya berkurang, yang pada gilirannya akan meningkatkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk pemanasan, sehingga menurunkan efisiensi. Deaerator bekerja dengan menyemprotkan air umpan ke dalam ruang tempat air tersebut dipanaskan oleh uap. Panas tersebut menyebabkan gas-gas terlarut keluar dari larutan. Deaerator biasanya sering digunakan dalam berbagai industri, seperti industri pengolahan kimia, industri pengolahan makanan, dan manufaktur farmasi [3]

Fuzzy PID

Fuzzy PID adalah suatu metode pengendalian yang menggabungkan logika fuzzy dengan kontroler PID (Proportional-Integral-Derivative). Kontroler PID konvensional menentukan sinyal kendali berdasarkan tiga komponen utama, yaitu nilai error, akumulasi error, dan perubahan error. Sementara itu, logika fuzzy menggunakan aturan berbasis pengetahuan manusia untuk menentukan respons kontrol terhadap kondisi sistem. Dengan menggabungkan kedua pendekatan tersebut, Fuzzy PID dapat memberikan respons pengendalian yang lebih adaptif terhadap perubahan karakteristik sistem, gangguan, maupun kondisi operasi yang berbeda. PID merupakan kontroler yang

menghasilkan sinyal kendali berdasarkan tiga aksi, yaitu proportional, integral, dan derivative.

Tahapan sistem fuzzy adalah fuzzifikasi, inferensi fuzzy, dan defuzzifikasi. Tahapan fuzzyfikasi merupakan proses mengubah nilai numerik (*crisp*) menjadi nilai linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan. Sebagai contoh, error dapat memiliki himpunan *Negative Big (NB)*, *Negative Small (NS)*, *Zero (Z)*, *Positive Small (PS)*, dan *Positif Big (PB)* yang Dimana nilai error tertentu dapat memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu himpunan. Pada Fuzzy PID, logika fuzzy dapat digunakan untuk menyesuaikan parameter PID secara adaptif [4]

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan berbasis simulasi menggunakan aplikasi Matlab / Simulink. Proses dimulai dengan membuat model matematis untuk level deaerator, yang kemudian dilanjutkan dengan merancang pengendali fuzzy, untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

2.1. Diagram Alir Sistem

Berikut merupakan diagram alir (flowchart) sistem kendali daerator berbasis fuzzy. Sistem dimulai dengan studi literature terkait sistem plant daerator dan proses pengendaliannya. Selanjutnya dilakukan pemodelan terhadap plant daerator yang terdiri dari pemodelan Fuzzy PID. Data pemodelan lalu dimasukkan pada matlab untuk dilakukan proses simulasi sistem menggunakan controller fuzzy. Selanjutnya akan diketahui data steady state, settling time, dan maximum overshoot untuk mengetahui kestabilan sistem [5].



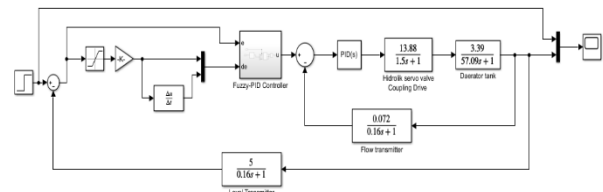
Gambar 2.1. Diagram Alir Sistem Kendali

2.1. Pemodelan Sistem

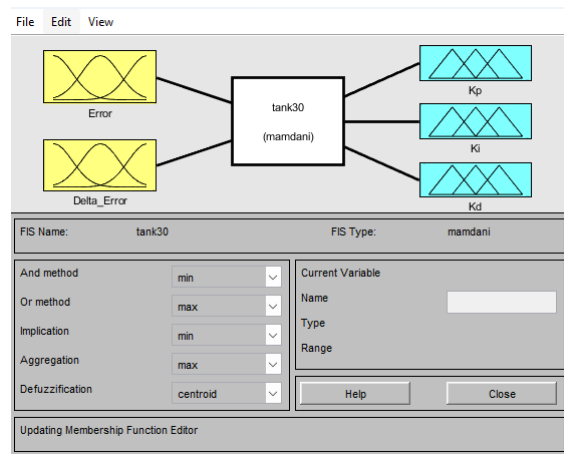
Berikut merupakan Pemodelan pada tangki deaerator untuk tangki dengan panjang 12.45 m, diameter 3.2 m, dan tinggi level 2.7 – 3.05 m.

2.2. Perancangan Pengendali Fuzzy-PID

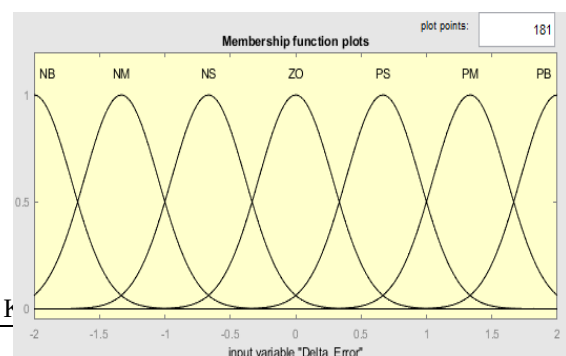
Setelah dilakukan pemodelan plant deaerator, selanjutnya nilai-nilai yang diperoleh dari hasil pemodelan dimasukkan ke dalam Matlab menggunakan controller Fuzzy.



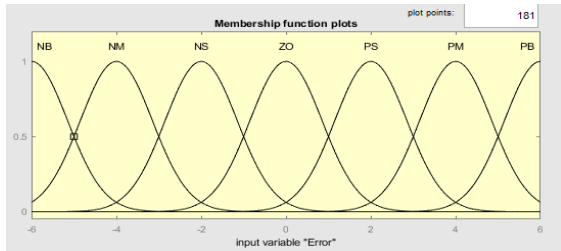
Berikut merupakan blok diagram sistem yang menunjukkan kondisi awal dengan menetapkan setpoint 70%. Level actual dari deaerator akan dikirim kembali melalui level transmitter. Setelah mendapatkan error, sinyal melewati blok pengolahan (gain). Selanjutnya sinyal tersebut masuk ke Fuzzy PID yang akan mengatur bukaan valve berdasarkan error tersebut dan menjaga aliran sesuai dengan setpoint yang ditetapkan



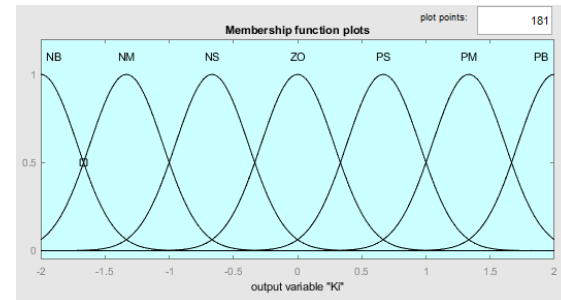
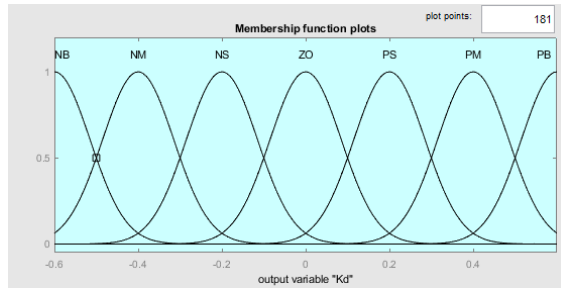
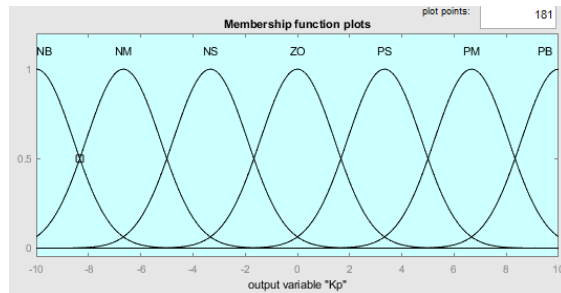
Gambar 2.2. Perancangan controller Fuzzy pada Matlab



$$= (Fw.pi + ms) - Fo.po$$



Gambar 2.4. Tampilan *Membership Function Input*



Gambar 2.4. Tampilan *Membership Function Output*

Berikut merupakan data *rule base* fuzzy yang digunakan pada sistem ini :

Table 3. The fuzzy rule base for PID gains

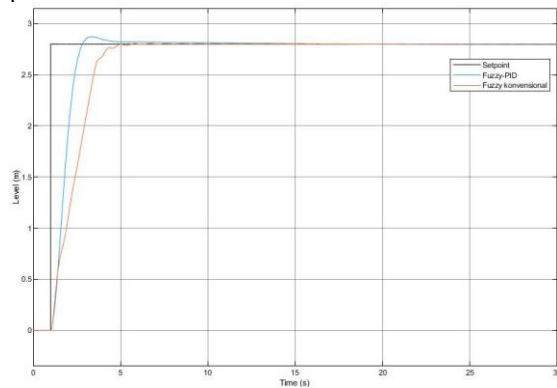
$k_p / k_i / k_d$		ec						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
e	NB	PB/NB/NB	PB/NB/NB	PM/NB/NM	PM/NB/NM	PS/NM/NS	ZO/NM/ZO	ZO/NS/ZO
	NM	PB/NB/NB	PB/NB/NB	PM/NB/NM	PS/NM/NS	PS/NM/NS	ZO/NS/ZO	NS/ZO/ZO
	NS	PM/ZO/NB	PM/NS/NM	PM/NM/NS	PS/NM/NS	ZO/NS/ZO	NS/NS/PS	NS/ZO/PS
	ZO	PM/ZO/NM	PM/NS/NM	PS/NS/NS	ZO/NS/ZO	NS/NS/PS	NM/NS/PM	NM/ZO/PM
	PS	PS/ZO/NM	PS/ZO/NS	ZO/ZO/ZO	NS/ZO/PS	NS/ZO/PS	NM/ZO/PM	NM/ZO/PB
	PM	PS/PB/ZO	ZO/PS/ZO	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PS/PM	NM/PS/PB	NB/PB/PB
	PB	ZO/PB/ZO	ZO/PM/ZO	NM/PM/PS	NM/PM/PM	NM/PS/PM	NB/PS/PB	NB/PB/PB

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil penerapan sistem pengendalian cascade pada deaerator yang terdiri dari primary loop untuk pengendalian level dan secondary loop untuk pengendalian flow. Hasil simulasi menunjukkan hubungan antara keluaran controller level sebagai setpoint bagi controller flow, kemudian controller flow mengatur bukaan katup untuk mempertahankan aliran menuju deaerator. Respons secondary loop dianalisis terlebih dahulu untuk memastikan aliran dapat mengikuti perubahan setpoint dengan cepat sehingga gangguan pada aliran dapat dikoreksi sebelum memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap level deaerator.

3.1. Hasil Perancangan dan Pengujian Fuzzy-PID

Bagian ini menyajikan hasil penerapan Fuzzy-PID pada primary loop pengendalian level deaerator. Sistem fuzzy menggunakan error dan perubahan error sebagai informasi untuk melakukan penyesuaian parameter PID. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk respons level terhadap setpoint serta perubahan parameter K_p , K_i , dan K_d . Perubahan parameter tersebut dianalisis untuk melihat bagaimana controller menyesuaikan karakteristik pengendalian ketika error masih besar, ketika sistem mendekati setpoint, maupun ketika terjadi perubahan arah error.



Gambar 3.1. Tampilan *Grafik Respon Fuzzy PID dan Konvensional*

Berdasarkan grafik, terdapat dua respons pengendalian, yaitu **Fuzzy-PID** dan **Fuzzy konvensional**, dengan setpoint level **2,8 m**. Dari grafik terlihat bahwa kedua metode mampu mencapai kondisi tunak, tetapi Fuzzy-PID memberikan respons yang lebih cepat dan memiliki sedikit overshoot.

Parameter	Fuzzy-PID	Fuzzy Konvensional
Overshoot	2,57%	0,4%
Rise time	2,0 s	3,0 s
Settling time ($\pm 2\%$)	3,5 s	4,5 s
Steady-state error	0,021m	0,025 m

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar tersebut, kedua metode pengendalian mampu mengikuti setpoint level deaerator sebesar sekitar 287 m dan mencapai kondisi tunak tanpa menghasilkan *steady-state error* yang berarti. Respons Fuzzy-PID menunjukkan kenaikan level yang lebih cepat dibandingkan Fuzzy konvensional. Hal tersebut terlihat dari nilai *rise time* Fuzzy-PID yang diperkirakan sekitar 2,0 detik, sedangkan Fuzzy konvensional membutuhkan waktu sekitar 3,0 detik untuk mencapai daerah mendekati nilai setpoint.

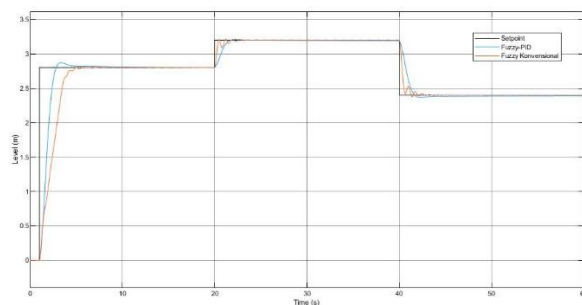
Pada respons Fuzzy-PID terlihat adanya *overshoot* sebelum level mencapai kondisi tunak. Nilai puncak respons berada sekitar 2,872 m, sehingga *overshoot* diperkirakan sebesar 2,57% terhadap setpoint 2,8 m. Setelah melewati nilai puncak tersebut, respons mengalami penurunan kecil dan kemudian stabil di sekitar setpoint. Sementara itu, respons Fuzzy konvensional menunjukkan *overshoot* yang lebih kecil, yaitu sekitar 0,4%, sehingga karakteristik responsnya relatif lebih landai ketika mendekati kondisi tunak.

Dari sisi *settling time*, Fuzzy-PID diperkirakan mencapai daerah toleransi $\pm 2\%$ dari setpoint dalam waktu sekitar **3,5 detik**, sedangkan Fuzzy konvensional membutuhkan sekitar **4,5 detik**. Dengan demikian, Fuzzy-PID menunjukkan waktu pemulihan dan pencapaian kondisi tunak yang lebih singkat, meskipun menghasilkan *overshoot* sedikit lebih besar. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya kompromi antara kecepatan respons dan besarnya *overshoot* pada kedua metode.

Setelah sekitar 5 detik, kedua respons telah berada sangat dekat dengan nilai setpoint dan relatif stabil hingga akhir simulasi. Nilai *steady-state error* keduanya dapat dianggap mendekati **0 m**, karena keluaran sistem berhenti di sekitar nilai setpoint. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua pengendali mampu mempertahankan level deaerator pada nilai yang diinginkan, sementara perbedaan utama terdapat pada kecepatan respons dan karakteristik transiennya.

3.2. Analisis Respons terhadap Perubahan Setpoint

Pengujian perubahan *setpoint* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem pengendalian level deaerator dalam mengikuti perubahan nilai level yang diinginkan pada kondisi operasi yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan memberikan perubahan *setpoint* secara bertahap, kemudian mengamati respons level yang dihasilkan oleh pengendali Fuzzy-PID dan Fuzzy konvensional. Analisis dilakukan berdasarkan karakteristik respons transien dan kondisi tunak, meliputi *rise time*, *settling time*, *overshoot*, *undershoot*, dan *steady-state error*. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengetahui karakteristik respons masing-masing metode dalam mempertahankan level deaerator terhadap perubahan *setpoint*.



Gambar 3.2. Tampilan Grafik Respon dengan Perubahan Set Point

Hasil pengujian perubahan setpoint menunjukkan bahwa kedua metode pengendalian mampu mengikuti perubahan level deaerator pada tiga kondisi setpoint, yaitu 2,8 m, 3,2 m, dan 2,4 m. Pada kondisi awal dengan setpoint 2,8 m, Fuzzy-PID menunjukkan respons yang lebih cepat dengan *rise time* sekitar 2,5–3 detik, namun menghasilkan *overshoot* sekitar 2,9%. Sementara itu, Fuzzy konvensional memiliki respons yang lebih lambat dengan *overshoot* yang relatif kecil. Ketika setpoint dinaikkan menjadi 3,2 m pada detik ke-20, Fuzzy-PID kembali memberikan respons yang lebih cepat dalam mencapai setpoint, tetapi menghasilkan *overshoot* sekitar 3–5% sebelum kembali menuju kondisi tunak. Pada perubahan setpoint turun menjadi 2,4 m pada detik ke-40, Fuzzy-PID mampu merespons perubahan dengan lebih cepat, meskipun terlihat adanya *undershoot* kecil. Setelah kondisi transien berakhir, kedua metode mampu mempertahankan level di sekitar setpoint dengan *steady-state error* yang mendekati nol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Fuzzy-PID memiliki karakteristik respons yang lebih cepat terhadap perubahan setpoint, sedangkan Fuzzy konvensional menghasilkan respons yang lebih halus dengan kecenderungan *overshoot* dan *undershoot* yang lebih kecil.

3.3. Analisis Respons terhadap Gangguan

Pengujian gangguan dilakukan dengan memberikan perubahan pada variabel proses, seperti perubahan aliran masuk atau aliran keluar deaerator. Pengujian ini bertujuan mengetahui kemampuan controller dalam mempertahankan level ketika terjadi gangguan. Respons yang diamati meliputi besarnya penyimpangan level dari setpoint, waktu yang diperlukan sistem untuk kembali menuju kondisi tunak, serta kemampuan secondary loop meredam gangguan sebelum memengaruhi primary loop. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menganalisis karakteristik Fuzzy-PID dan PID konvensional dalam menghadapi perubahan kondisi operasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem pengendalian level deaerator secara *cascade*, dapat disimpulkan bahwa kedua metode, yaitu Fuzzy-PID dan Fuzzy konvensional, mampu mengikuti perubahan *setpoint* dan mempertahankan level pada kondisi tunak dengan *steady-state error* yang mendekati nol. Pada pengujian perubahan *setpoint* dari 2,8 m menjadi 3,2 m dan kemudian 2,4 m, Fuzzy-PID menunjukkan respons yang lebih cepat dalam mengikuti perubahan dibandingkan Fuzzy konvensional. Namun, respons Fuzzy-PID menghasilkan *overshoot* dan *undershoot* yang sedikit lebih besar pada saat terjadi perubahan *setpoint*. Sementara itu, Fuzzy konvensional memberikan respons yang lebih halus dengan penyimpangan transien yang lebih kecil, tetapi membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kondisi tunak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan Fuzzy-PID pada pengendalian level deaerator mampu memberikan respons yang lebih cepat terhadap perubahan *setpoint*, dengan konsekuensi adanya peningkatan respons transien yang perlu diperhatikan dalam penentuan parameter pengendali. Sebagai saran, penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter dan aturan Fuzzy-PID untuk mengurangi *overshoot* dan *undershoot* serta meningkatkan kestabilan respons level deaerator, khususnya ketika terjadi perubahan *setpoint* dan gangguan proses. Pengujian juga dapat dikembangkan

menggunakan data kondisi operasi yang lebih bervariasi dan implementasi secara *real-time* pada sistem fisik untuk mengetahui kinerja pengendali pada kondisi yang lebih mendekati operasi sebenarnya.

Daftar Rujukan

- [1] Adhy D.R., 2025.,Belajar Sistem Kendali Dengan Matlab. 1rd., PT.Mafy Media Literasi Indonesia
- [2] Ramadhan, M.H, Andika.J., 2024. Desain Sistem Kontrol Level Deaerator Menggunakan Control Cascade dan Logika Fuzzy di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Muara Karang.Jurnal Teknologi Elektro Vol. 15. No. 1., 78-82.
- [3] Raharjo.R.W., 2022. Pemodelan Sistem Pengendalian Level Deaerator Berbasis Self Tunning Fuzzy PID Controller di PLTU Teluk Balikpapan. Jurnal Teknologi Terpadu. Vol 11 no 02. 191 – 205
- [4] Sumardi, A Riyadi M, Aprivirly, LN. 2019. Adaptive Neuro Fuzzy Infrence System (ANFIS) for Controlling Level and Pressure on Deaerator. Ejournal undip. Vol 20 No 02. 77-83
- [5] P.A Pratiwi . 2015. Perancangan Sistem Pengendalian Level Menggunakan Fuzzy Logic Unit Deaerator 101 U di Pabrik Ammoniak PT. Petrokima Gresik. Institute Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Suryatini. F., Suproyanto, H., 2023. Optimasi Kendali Ketinggian Air dengan Kontroller Fuzzy PID dalam menghadapi Variabel Gangguan. Jurnal Teknik Energi Elektrik , Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika. Vol.11 No.4. 998-1012.
- [7] Mursyitah, D, Faizal A. Ismaredah E. 2019. Desain Pengendali Fuzzy- PID Untuk Mengendalikan Posisi pada Sistem Magnetic Levitation Ball. Jurnal Ecotipe. Vol 06, No 2, 61-66
- [8] Sulfikar, Bakri, H, dkk, 2026. Konsep Dasar Sistem Kendali dalam Perspektif Rekayasa Sistem. Journal of Electrical Engineering. Vol 03 No 01. 1 – 10.
- [9] Marizka, D.A, Ashilla, A.L., 2025. Rancang Bangun Sistem Kendali PID Motor DC berbasis Blynk Untuk Meningkatkan Efisiensi dan Fleksibilitas. Jurnal Inovasi Teknologi Terapan. Vol 3 No 2.
- [10] Kurniawan, M.S,dkk, 2025. Implementasi Sistem Kendali Otomatis Pada Industri Manufaktur. Teknoin Vol 30, no 01, 1-8.
- [11] Sakti, B., Amalia, K., 2025. Analisis Kestabilan Sistem Kendali Berbasis Metode Root Locus melalui Aproksimasi Pade Untuk Sistem dengan Time Delay. Jurnal Ilmiah Ilmu Teknik Mesin, Industri, Komputer dan Elektronika, Vol 01, No.02.
- [12] Hadi, B.D., 2025. Perancangan Sistem Kendali Motor DC dengan Fuzzy Menggunakan Simulink Matlab. Jurnal Sains dan Teknologi Elektro. Volume 15 No 01, 2830 – 3515.

