

Komparasi Kinerja Kendali PID dan Logika Fuzzy pada Simulator *Plant* Orde Dua

Sarjono Wahyu Jadmiko, Sofian Yahya, Sudrajat, Fahira Azizah

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung, 40012, Jawa Barat, Indonesia

sarjono_wahyu@polban.ac.id

Abstrak

Sistem kendali Proporsional Integral Derivatif (PID) dan *fuzzy logic* dapat menghasilkan respon pengendali yang baik dan handal untuk mengendalikan *plant-plant* di berbagai industri dan masih banyak digunakan hingga saat ini. Dalam penelitian ini, akan diteliti perbandingan indikator kinerja kendali PID dan kendali logika fuzzy berbasis *Programmable Logic Control* (PLC) pada simulator *plant* orde dua. Karakteristik yang dibandingkan yaitu persentase nilai *error steady state* (Ess), *overshoot* (Mp), dan *settling time* (Ts). Penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan beberapa *sample plant* orde dua yang tersedia pada modul *Simulated Control System* pabrikan Laybold. Dari hasil penelitian, diperoleh Ess = 0 untuk kendali PID maupun kendali logika fuzzy. Kendali fuzzy memiliki Mp yang cukup tinggi dan membutuhkan waktu yang cepat untuk mencapai kestabilan dengan Mp = 0,44% dan Ts = 5,68 detik, sedangkan kendali PID menghasilkan *output* respon dengan Mp yang rendah dan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai kestabilan dengan Mp = 0,2% dan Ts = 8,18 detik. Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kendali PID, menunjukkan kinerja yang lebih baik, dibandingkan kendali logika fuzzy pada *plant* orde dua yang memiliki nilai *time constant* yang kecil. Pada kendali logika fuzzy, menunjukkan hasil kinerja yang cukup baik, apabila diterapkan pada *plant* orde dua yang memiliki nilai *time constant* yang besar.

Kata kunci: PID, logika fuzzy, PLC, simulator *plant* orde dua

Abstract

Proportional Integral Derivative (PID) and Fuzzy Logic control systems can produce a good and reliable controller response to control plants in various industries and are still widely used today. In this research, we will examine the comparison of performance indicators for PID control and fuzzy logic control based on Programmable Logic Control (PLC) on a second order plant simulator. The characteristics being compared are the percentage of steady state (Ess), overshoot (Mp), and settling time (Ts) error values. This research was conducted using several second-order sample plants available in the Laybold Simulated Control System module. From the research results, it is obtained that Ess = 0 for PID control and fuzzy logic control. Fuzzy control has a high Mp and requires a fast time to achieve stability with Mp = 0.44% and Ts = 5.68 seconds, while PID control produces a response output with low Mp and takes a long time to achieve stability with Mp = 0.2% and Ts = 8.18 seconds. From the research results, it can be concluded that PID control shows better performance than fuzzy logic control on second order plants which have a small time constant value. In the fuzzy logic control, the performance results are quite good, when applied to second order plants which have a large time constant value.

Keywords: PID, fuzzy logic, PLC, second-order plant simulator

I. PENDAHULUAN

Di dalam industri dibutuhkan suatu sistem pengendalian yang baik guna menunjang perbaikan performance dalam proses produksi, serta dapat meningkatkan efisiensi dalam proses produksi [1]. Metode sistem kendali yang telah berkembang dan dipakai di industri pun bermacam-macam, salah

satu contohnya, yaitu sistem kendali konvensional Proporsional Integral Derivatif (PID). Adapun metode sistem kendali non-konvensional yang telah diterapkan di industri, yaitu kendali logika fuzzy. Kendali logika fuzzy, memiliki kemampuan untuk dapat mengendalikan *plant* yang mempunyai tingkat kompleksitas yang tinggi dan mampu mengendalikan sistem dengan banyak parameter

yang dikendalikan [2]. Namun demikian, perlu dilakukan sebuah studi yang dapat menggambarkan perbandingan hasil pengendalian dari kendali PID dan logika fuzzy, khususnya dalam *plant* orde dua.

Perancangan dan simulasi pengendalian pada suatu sistem *plant* orde dua dengan metode berbeda pernah dilakukan oleh para peneliti. Bahkan, implementasi dengan metode yang sama, pada *plant* yang berbeda juga pernah diimplementasikan tetapi dengan basis yang berbeda. Seperti pada penelitian [2] yang menggunakan pengendali *hybird* PID-Fuzzy untuk mengendalikan *plant* orde dua agar dapat diketahui pengaruh konstanta PID pada sistem kontrol *hybrid* PID-Fuzzy secara umum. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan penambahan kendali PID pada kendali logika fuzzy dapat memperbaiki karakteristik respon waktu pada sistem orde dua. Berbeda dengan penelitian [3] yang melakukan pengendalian *plant* orde dua menggunakan simulasi MATLAB untuk kendali logika fuzzy dan simulasi pada ORCAD PSPICE untuk kendali PID. Didapatkan hasil bahwa penggunaan metode kendali logika fuzzy menghasilkan respon yang lebih baik dari pada kendali PID dalam mencapai keadaan *steady state*. Pada kendali logika fuzzy mempunyai kesalahan keadaan tunak yang lebih kecil yaitu 10% dengan selisih *settling time* 2,23 detik dan persentase *overshoot/undershoot* yang lebih kecil yaitu 6,85% dibandingkan pengendali PID.

Dalam dunia industri, perangkat pengendali yang banyak digunakan adalah *Programmable Logic Control* (PLC). Perangkat ini banyak digunakan karena memiliki keahlian baik dalam

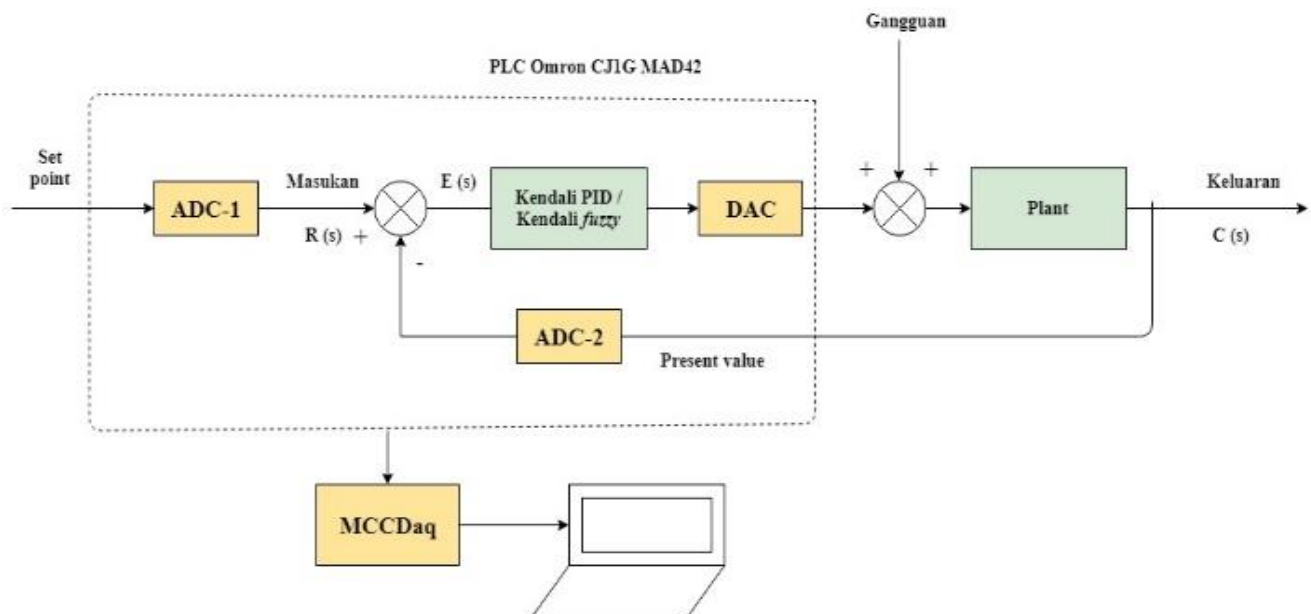
performa maupun fisiknya. Penerapan pengendali PID maupun logika fuzzy juga telah dilakukan oleh [4]-[10], dari mulai aplikasi pada sistem kendali temperature, level, motor listrik, dan sistem monitoring.

Berdasarkan tersebut, pada penulisan penelitian ini kami tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengimplementasikan metode kendali fuzzy dan metode kendali PID pada simulator *plant* orde dua berbasis PLC. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil kinerja atau *performance indicator* kendali PID dan kendali logika fuzzy berdasarkan nilai *error steady state* (Ess), *maximum overshoot* (Mp), dan *settling time* (Ts) pada simulator *plant* orde dua berbasis PLC Omron CJ1G-MAD42. Selain itu, dapat diketahui kelebihan dan kekurangan dari masing-masing kendali apabila diterapkan pada suatu *plant* yang sama.

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram proses pengendalian yang dirancang. Perancangan sistem dilakukan untuk mengamati keluaran kurva tanggapan keluaran respon pada simulator *plant* orde dua. Kemudian dilakukan metode optimasi *loop* terbuka untuk menentukan nilai parameter-parameter PID, seperti nilai Kp, Ki, dan Kd. Lalu dilakukan proses *tunning* PID, untuk mendapatkan hasil respon sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Hasil dari respon tersebut, diproses oleh PLC yang telah diprogram berdasarkan algoritma kendali PID dan kendali fuzzy tipe Sugeno secara manual/satu per satu. Pertama, hasil dari respon akan diproses oleh PLC yang telah diprogram berdasarkan algoritma kendali PID. Kedua, respon akan diproses oleh PLC yang telah diprogram berdasarkan algoritma logika fuzzy-Sugeno.

Kemudian akan diamati hasil kinerja dari masing-masing kendali, berdasarkan Ess, Mp, dan Ts. Selanjutnya, dilakukan pengamatan dan perbandingan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari masing-masing kendali dan untuk dapat mengetahui manakah diantara kedua kendali tersebut yang lebih andal dalam menangani gangguan pada sistem.

A. Simulator Plant Orde Dua

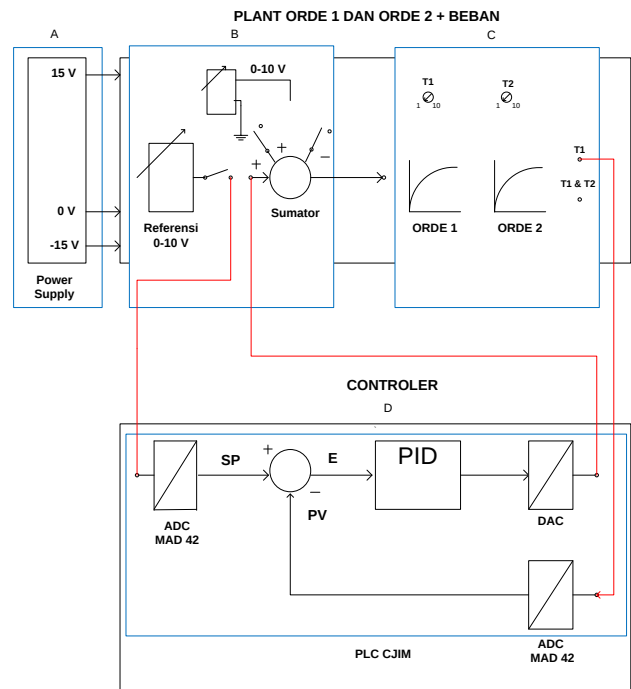
Sistem orde dua merupakan sistem yang dalam fungsi Laplace memiliki fungsi alih dengan pangkat s tertinggi sama dengan dua. Pada sistem kendali *loop* tertutup, suatu sistem orde dua dapat ditulis dengan rumus:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\tau\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

dengan ω_n adalah frekuensi alami tak teredam, τ adalah konstanta waktu (*time constant*), dan ζ adalah nilai rasio redaman.

Pada penelitian ini implementasi pengendalian dilakukan dengan menggunakan simulator *plant* orde dua. Simulator ini, merupakan sebuah modul *controller* yang dapat memodelkan respon kendali dengan fungsi transfer orde tertinggi sama dengan dua. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, modul ini dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

1. Bagian A, merupakan *power supply* simulator DC (± 15 volt), yang digunakan sebagai catu daya modul simulator *plant* orde dua.
2. Bagian B, merupakan pengaturan tegangan *set point*, beban, dan sumator. Tegangan *set point* dapat diatur dari 0-10 volt, sesuai tegangan referensi yang diinginkan. Beban yang digunakan berupa tegangan yang diberikan kepada sistem, dengan *range* 0-10 volt, sedangkan sumator, berfungsi sebagai penambah beban (tegangan).
3. Bagian C, merupakan pengaturan pemilihan simulasi *plant* yang diinginkan, yaitu orde satu atau orde dua.
4. Bagian D, merupakan blok pengendali PID.



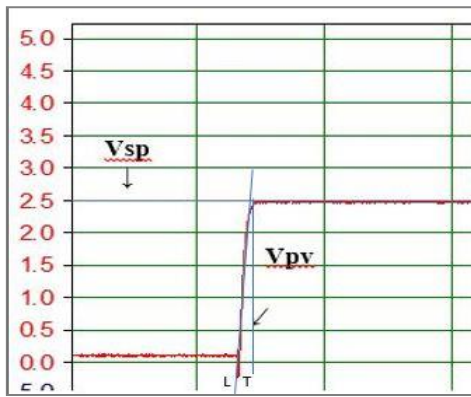
Gambar 2. Pengendali *loop* tertutup dengan simulator *plant* orde dua

Tabel 1. Konversi nilai parameter PID [11]

Set value	Kp		Ti		Td	
Des (&)	Des (&)	Nilai	Des (&)	Nilai	Des (&)	Nilai
300	650	1,00	2	0,48	&4	1,47
300	600	1,44	4	0,8	&3	1,05
300	550	1,75	6	1,01	&2	0,53
300	500	2,05	8	1,22	&1	0,12
300	400	2,45	10	1,5		
300	350	2,61	20	2,67		
300	300	3,05	30	3,89		
300	250	3,35	40	5,33		
300	200	4,82	50	7,33		
300	150	5,43				
300	100	6,07				

B. Perancangan Kendali PID

Perancangan kendali PID pada simulator *plant* orde dua dilakukan dengan beberapa tahap, dimana pada pengendali PID dilakukan dengan metode optimasi *loop* terbuka Ziegler-Nichols, untuk mendapatkan kurva reaksi agar dapat diketahui nilai parameter Kp, Ti, dan Td. Lalu setelah itu dilakukan konversi nilai parameter PID pada PLC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Gambar 3 menunjukkan salah satu kurva tanggapan *loop* terbuka dari simulator *plant* orde dua.



Gambar 3. Hasil respon loop terbuka plant orde dua

Tabel 2. Hasil perhitungan parameter PID

Jenis kendali	Parameter		
	Kp	Ti	Td
P	$K_p = \frac{T}{L}$	-	-
PI	$K_p = 0,95 \times \frac{T}{L}$	$T_i = \frac{L}{0,3}$	-
PID	$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L}$	$T_i = 2 \times L$	$T_d = 0,5 \times L$

Dari hasil penarikan garis di kurva karakteristik *plant* orde dua di atas didapat $T = 0,53$ detik dan $L = 0,3$ detik. Dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols, maka nilai K_p , T_i , dan T_d untuk kurva karakteristik *plant* orde dua dapat dihitung menggunakan persamaan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil perhitungan parameter kendali PID dengan metode Ziegler-Nichols, diperoleh nilai $K_p = 2,2$; $T_i = 1,6$; dan $T_d = 0,15$. Maka, untuk *setting* parameter tersebut pada PLC, *setting* nilai desimal parameter K_p pada PLC dipilih $K_p = \&500$, $T_i = \&15$, dan $T_d = \&2$. Kemudian, dibuat program kendali PID pada PLC menggunakan bahasa *ladder diagram* dan FBD (*function blok diagram*).

C. Perancangan Kendali Logika Fuzzy

Gambar 4 menunjukkan diagram blok kendali logika fuzzy. Berdasarkan diagram blok tersebut, pemrograman pada PLC terdiri dari pemrograman *set*

point, masukan *Error* dan *dError*, pengendali *fuzzy*, dan pemrograman *process value* (PV) yang merupakan *feedback* sistem. Tegangan pada *feedback* sistem memberikan masukan berupa *input* analog ke PLC dari 0-5 volt. PLC OMRON CJ1G mempunyai modul *analog input* dengan resolusi maksimal 8000 untuk 10 volt, sehingga resolusi PLC untuk 0-5 volt adalah 0-4000 volt.

Pada perancangan fungsi keanggotaan, dipakai fungsi keanggotaan berbentuk segitiga sebanyak tiga buah untuk nilai *Error*, *dError*, dan *control action*. Nilai *Error* dan *dError* sistem diperoleh melalui persamaan berikut ini.

$$Error = SP - PV \quad (2)$$

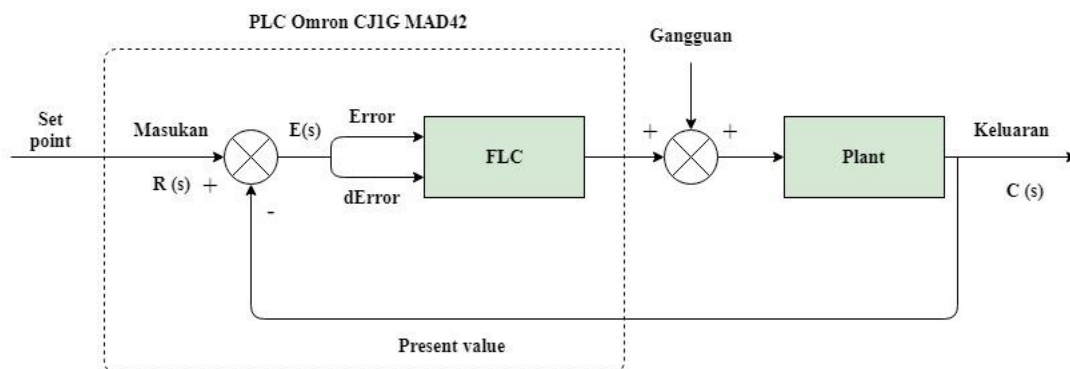
$$dError = Error(k) - Error(k - 1) \quad (3)$$

dengan SP adalah (*set point*), PV adalah (*present value*), $Error(k)$ adalah nilai *Error* saat ini, dan $Error(k-1)$ adalah nilai *error* sebelumnya. Fungsi keanggotaan masukan *Error* dan *dError* ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari grafik himpunan keanggotaan *Error*, dapat dijelaskan sebagai berikut:

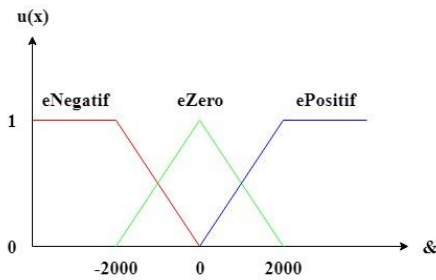
1. Dikatakan *error negative*, jika nilai *Error* kurang dari $\&-2000$ dan *range error* berada diantara $\&2000$ sampai $\&0$.
2. Dikatakan *error zero*, jika *range error* berada diantara $\&-2000$ sampai $\&2000$.
3. Dikatakan *error positive*, jika nilai *range error* berada diantara $\&0$ sampai $\&2000$ dan lebih dari $\&2000$.

Dari grafik himpunan keanggotaan *dError*, dapat dijelaskan sebagai berikut:

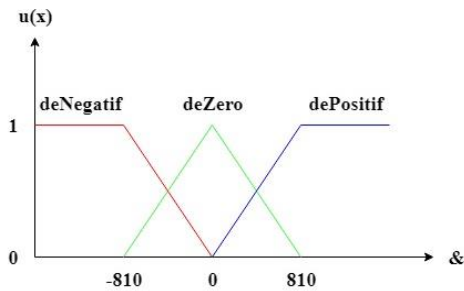
1. Dikatakan *derror negative*, jika nilai *derror* kurang dari $\&-810$ dan *range derror* berada diantara $\&810$ sampai $\&0$.
2. Dikatakan *derror zero*, jika *range derror* berada diantara $\&-810$ sampai $\&810$.
3. Dikatakan *derror positive*, jika nilai *range derror* berada diantara $\&0$ sampai $\&2000$ dan lebih dari $\&2000$.



Gambar 4. Diagram blok perancangan sistem logika fuzzy



Gambar 5. Himpunan keanggotaan Error



Gambar 6. Himpunan keanggotaan dError

Tabel 3. Range error dan derror

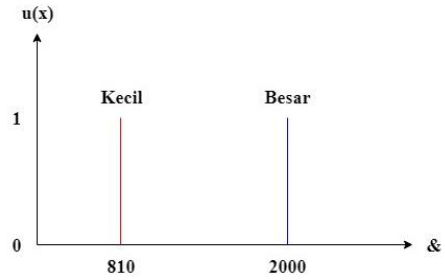
$\tau_1 = \tau_2$	V_{SP} (V)	V_{PV} (V)	$\&V_{SP}$	$\&V_{PV}$	$\&error$	$\&derr$
0,1	3	2.5	1005	2820	1815	810
0,2	3	2.5	1005	2820	1815	810
0,3	3	2.5	1005	2820	1815	810
0,4	3	2.5	1005	2820	1815	810

Tabel 4. Tabel aturan fuzzy

Parameter	Error Negatif	Error Zero	Error Positif
dError Negatif	Kecil (R1)	Kecil (R2)	Kecil (R3)
dError Zero	0 (R4)	0 (R5)	0 (R6)
dError Positif	Besar (R7)	Besar (R8)	Besar (R9)

Data batas parameter Error dan dError tersebut dilihat dari hasil respon tanggapan *plant* orde-2 pada percobaan *loop* tertutup tanpa pengendali, ketika diberikan beban penuh seperti pada Tabel 3 dengan V_{sp} adalah tegangan *set point*, V_{pv} adalah tegangan *present value*, $\tau_1 = \tau_2$ adalah konstanta waktu *plant* orde dua. Range tersebut dijadikan parameter *input* pada kendali logika fuzzy.

Setelah didapat range Error dan dError, diperlukan *rule base* sebagai aturan dasar sistem kendali fuzzy. *Rule base* ini harus disesuaikan dengan karakteristik *plant* orde dua ketika diberi gangguan Adapun *rule base* yang dirancang ditampilkan pada Tabel 4.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan output

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan hubungan antar aturan. Inferensi ini dilakukan dengan mencari nilai minimum dari basis aturan fuzzy sebagai berikut:

1. $\mu_{r1} = \min\{\mu_{erN}(x_1), \mu_{deN}(x_2)\}$; *output* = *Small*
2. $\mu_{r2} = \min\{\mu_{erN}(x_1), \mu_{deZ}(x_2)\}$; *output* = *Small*
3. $\mu_{r3} = \min\{\mu_{erN}(x_1), \mu_{deP}(x_2)\}$; *output* = *Small*
4. $\mu_{r4} = \min\{\mu_{erZ}(x_1), \mu_{deN}(x_2)\}$; *output* = 0
5. $\mu_{r5} = \min\{\mu_{erZ}(x_1), \mu_{deZ}(x_2)\}$; *output* = 0
6. $\mu_{r6} = \min\{\mu_{erZ}(x_1), \mu_{deP}(x_2)\}$; *output* = 0
7. $\mu_{r7} = \min\{\mu_{erP}(x_1), \mu_{deN}(x_2)\}$; *output* = *Big*
8. $\mu_{r8} = \min\{\mu_{erP}(x_1), \mu_{deZ}(x_2)\}$; *output* = *Big*
9. $\mu_{r9} = \min\{\mu_{erP}(x_1), \mu_{deP}(x_2)\}$; *output* = *Big*

Setelah tahap inferensi, maka selanjutnya adalah tahap defuzifikasi. Metode yang digunakan yaitu Sugeno. Pada defuzifikasi metode sugeno dicari *output* dengan merata-rata suatu persamaan. Bentuk *output* dari fuzzy berupa nilai tegas. Pendekatan matematis dari metode *weight average* ditulis sebagai berikut.

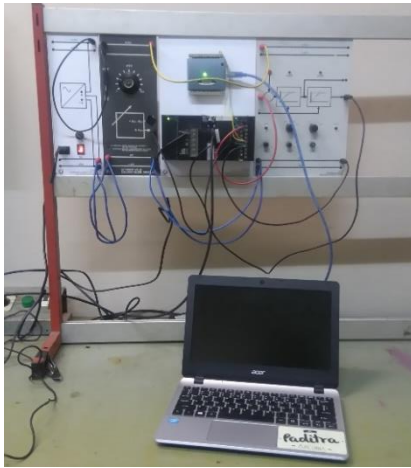
$$z = \frac{\{(R1 \times Z1) + (R2 \times Z2) + (R3 \times Z3) + \dots + (R9 \times Z9)\}}{R1 + R2 + R3 + \dots + R9} \quad (4)$$

dengan z adalah *output* tegas, R adalah nilai fungsi keanggotaan *output*, dan z_i adalah derajat keanggotaan *output* ke- i . Pada penelitian ini, dipilih nilai *decimal output* dengan range sebesar 0-4000 ms dengan nilai batas bawah adalah $\&10$ dan batas atas adalah $\&2000$ seperti pada Gambar 7.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

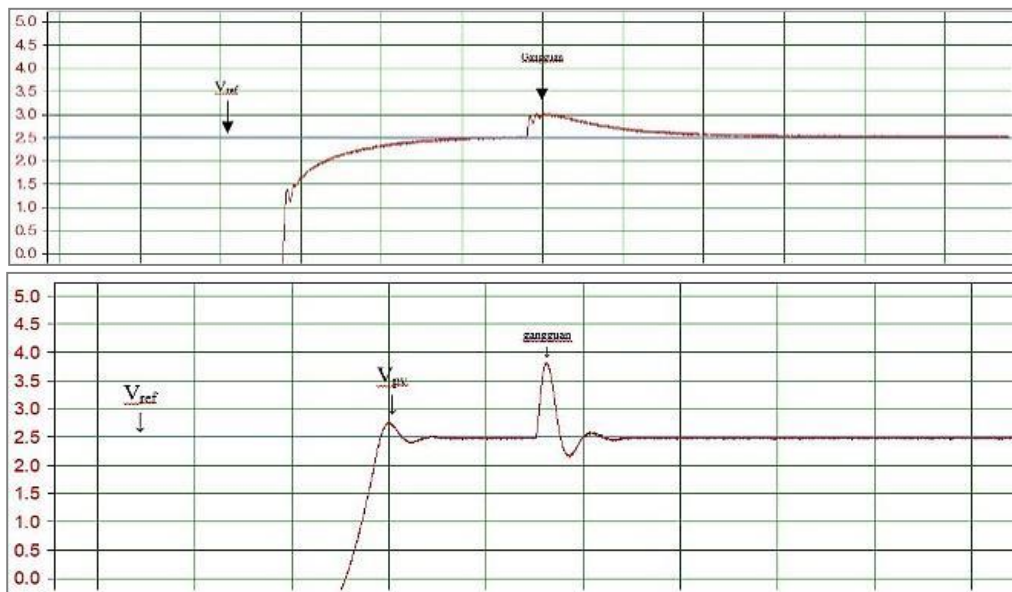
Implementasi perangkat keras pengendalian dapat dilihat pada Gambar 8. Sistem kendali yang dirancang kemudian diuji untuk mengetahui performa pengendalian. Pengujian dilakukan dengan memberikan *time constant* ($\tau_1 = \tau_2$) 0,2 sampai 0,5 untuk kedua jenis kendali. *Plant* kendali yang digunakan dalam bentuk persamaan polynomial orde dua dengan koefisien *time constant* sebagai berikut.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)} \quad (5)$$

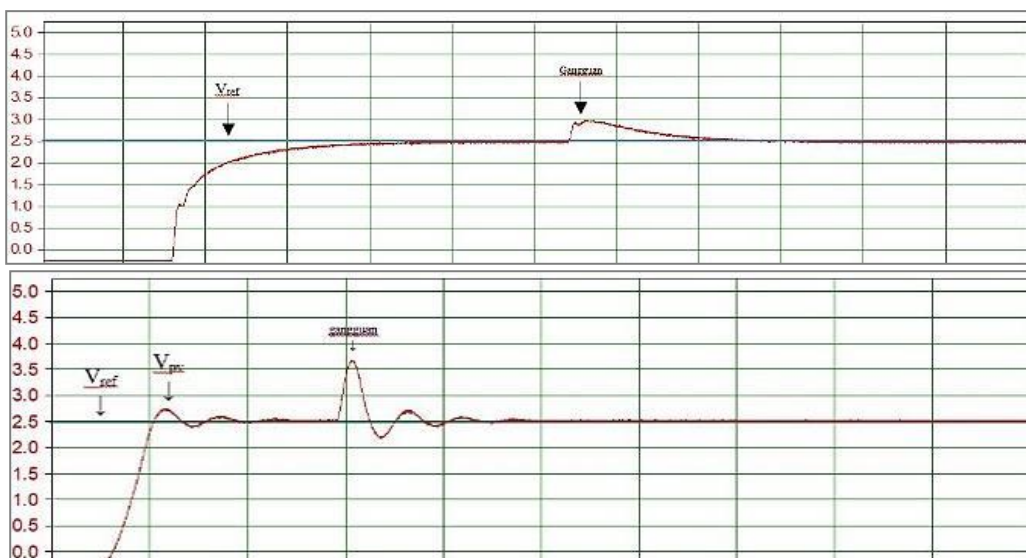


Gambar 8. Rangkaian pengujian

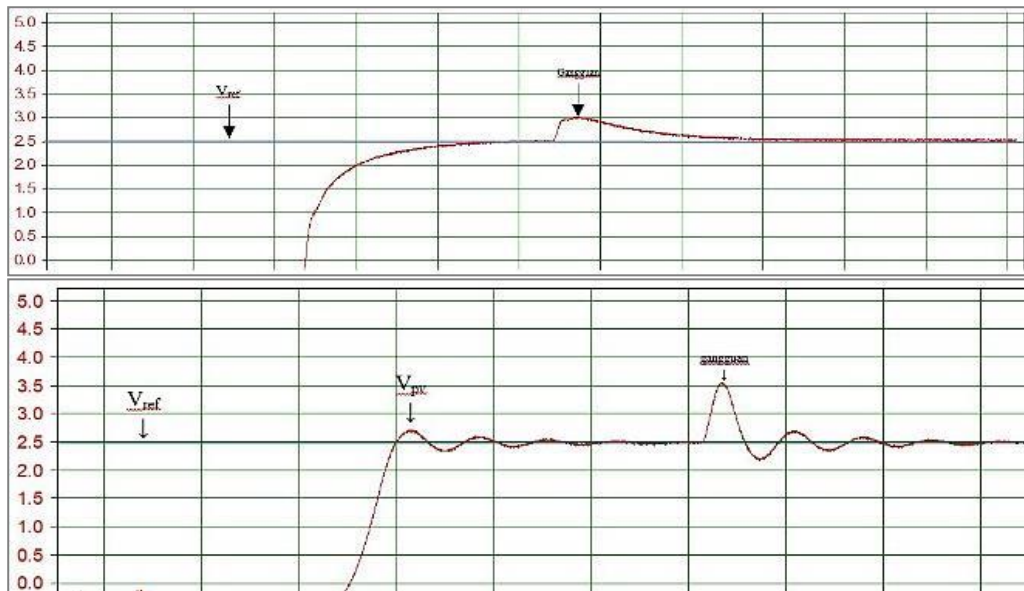
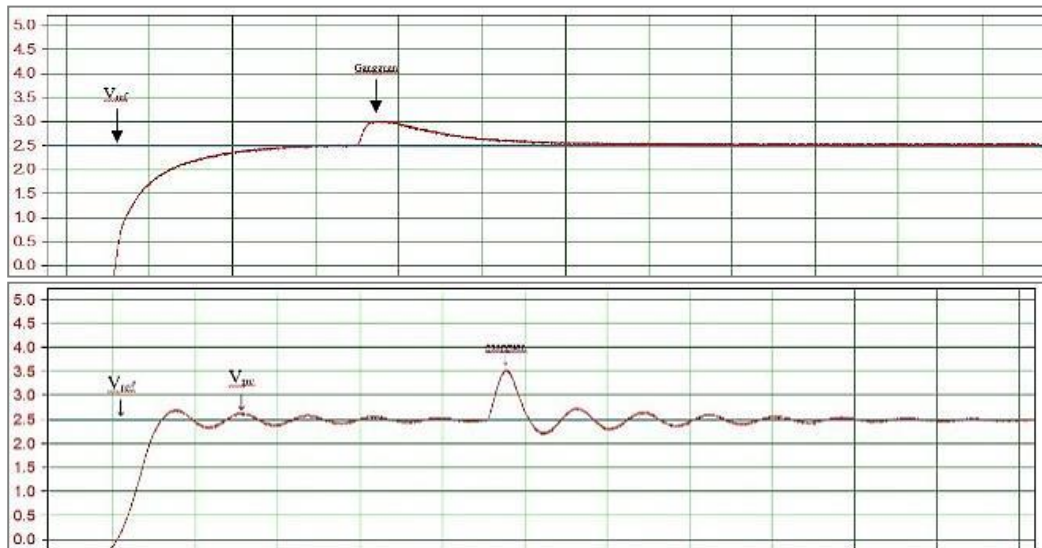
Hasil pengujian kendali PID dan kendali logika fuzzy pada simulator *plant* orde dua dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12. Dari hasil pengujian kendali PID dan kendali logika fuzzy pada simulator *plant* orde dua, terlihat bahwa dengan menggunakan kendali logika fuzzy diperoleh waktu naik (*rise time*) respon menuju stabil yang lebih cepat. Untuk kendali PID pada konstanta waktu *plant* orde-2 ($\tau_1 = \tau_2$) 0,3, diperoleh waktu naik yang diperlukan menuju stabil adalah 11,18 detik. Pada kendali fuzzy, waktu yang diperlukan adalah 2 detik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kendali logika fuzzy memungkinkan diperolehnya respon keadaan mantap yang lebih cepat.



Gambar 9. Tanggapan respon PID (atas) dan logika fuzzy (bawah) pada $\tau_1 = \tau_2 = 0,2$

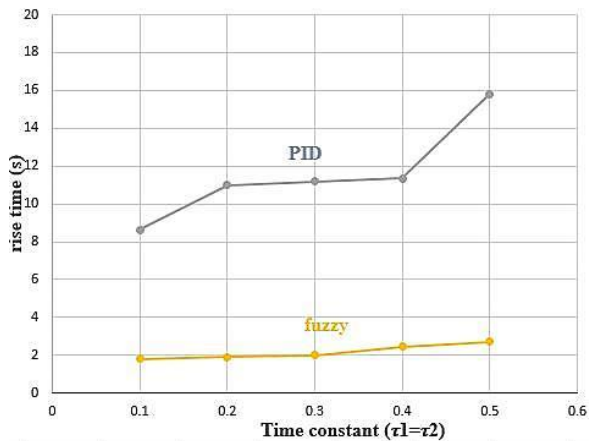


Gambar10. Tanggapan respon PID (atas) dan logika fuzzy (bawah) pada $\tau_1 = \tau_2 = 0,3$

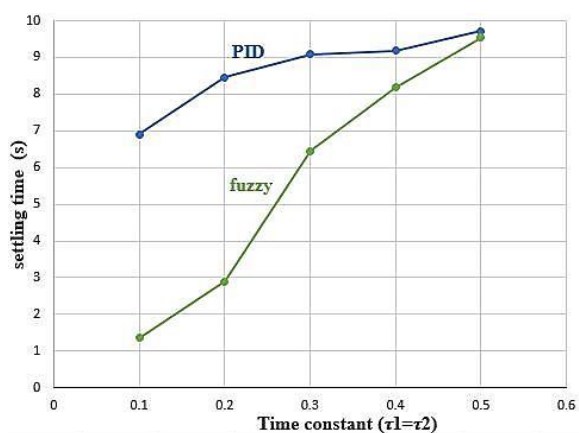
Gambar 11. Tanggapan respon PID (atas) dan logika fuzzy (bawah) pada $\tau_1 = \tau_2 = 0,4$ Gambar 12. Tanggapan respon PID (atas) dan logika fuzzy (bawah) pada $\tau_1 = \tau_2 = 0,5$

Tabel 5. Hasil kinerja kendali PID dan kendali fuzzy

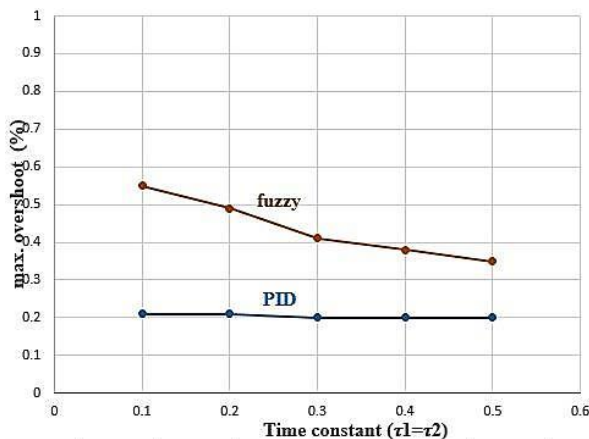
$\tau_1 = \tau_2$	Kendali	Tanpa Gangguan			Dengan Gangguan		
		Mp (%)	Ess (%)	Ts (s)	Mp (%)	Ess (%)	Ts (s)
0,2	PID	0	0	7,90	0,21	0	8,45
	Fuzzy	0,10	0	1,63	0,49	0	2,90
0,3	PID	0	0	9,90	0,20	0	9,27
	Fuzzy	0,10	0	3,45	0,41	0	6,45
0,4	PID	0	0	10,00	0,20	0	9,45
	Fuzzy	0,09	0	4,27	0,38	0	8,18
0,5	PID	0	0	10,18	0,20	0	9,72
	Fuzzy	0,08	0	6,90	0,35	0	9,54



Gambar 13. Grafik perbandingan perubahan nilai *time constant* terhadap *rise time* pada kendali PID dan kendali fuzzy



Gambar 14. Grafik perbandingan perubahan nilai *time constant* terhadap *settling time* pada PID dan kendali fuzzy



Gambar 15. Grafik perbandingan perubahan nilai *time constant* terhadap *max. overshoot* pada kendali PID dan fuzzy

Dari hasil pengujian, menunjukkan dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* diperoleh *settling time* respon pada saat terjadi gangguan yang lebih cepat. Untuk kendali PID pada konstanta waktu 0,3, diperoleh nilai *settling time* gangguan adalah 9,27 detik. Pada kendali *fuzzy*, waktu yang

diperlukan adalah 6,45 detik. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kendali logika *fuzzy* memungkinkan diperolehnya respon *settling time* untuk meredam gangguan yang lebih cepat.

Dari hasil pengamatan kinerja perbandingan antara kendali PID dan kendali logika *fuzzy*, diperoleh bahwa penggunaan kendali logika *fuzzy* dilihat dari hasil respon *rise time* (Gambar 13) dan *settling time* (Gambar 14) menunjukkan kinerja yang baik jika dibandingkan dengan kendali PID. Jika dilihat dari *overshoot* (Gambar 15), kendali PID memiliki nilai yang lebih baik jika dibandingkan dengan logika *fuzzy*. Kendali PID sebaiknya, diterapkan pada karakteristik *plant orde dua* yang mempunyai nilai *time constant* yang kecil. Sebaliknya, apabila dilihat dari hasil respon kinerja kendali logika *fuzzy*, yaitu nilai *rise time*, *overshoot*, dan *settling time* menunjukkan kinerja yang cukup baik pada nilai konstanta waktu *plant orde dua* yang besar.

Sistem *plant orde dua* menggunakan kendali PID mampu meredam *overshoot* gangguan lebih kecil dibandingkan kendali logika *fuzzy* dan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai kestabilan. Penggunaan kendali PID dan kendali logika *fuzzy* pada *plant orde dua* mampu melakukan pengendalian dengan memperkecil nilai *error* sistem. Berdasarkan Gambar 15, dapat dilihat bahwa respon *overshoot* yang dihasilkan oleh kendali PID lebih baik jika dibandingkan dengan respon *overshoot* menggunakan kendali logika *fuzzy*. Namun, pada nilai *time constant* yang besar, kendali logika *fuzzy* pun mampu meredam *overshoot* cukup baik, sebagaimana kendali PID. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa respon yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy*, menunjukkan hasil yang cukup baik, apabila digunakan untuk nilai *time constant* yang besar. Sebaliknya, pada *time constant* yang kecil lebih baik menggunakan kendali PID. Untuk parameter *Ess*, kedua pengendali ini mampu menghasilkan nilai 0%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa apabila dilihat dari karakteristik respon yang dihasilkan, kendali PID menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan kendali logika *fuzzy* pada *time constant* yang kecil. Sebaliknya, kendali logika *fuzzy* menunjukan hasil kinerja yang cukup baik, apabila diterapkan pada karakteristik *plant* yang memiliki nilai *time constant* yang besar. Untuk pengembangan yang berkaitan dengan ini dapat diterapkan basis aturan yang lebih banyak agar dapat meredam *overshoot* pada saat gangguan.

Selain itu, dapat digunakan parameter fuzzy yang optimal untuk mendapatkan nilai *overshoot* yang lebih kecil.

REFERENSI

- [1] K. Simamora, "Desain Kendali PID Pada Plant Debit Air Dengan Metode Ziegler-Nichols Dan Cohen-Coon Menggunakan Matlab Dan Arduino," *Tugas Akhir Politeknik Negeri Bandung*, 2015.
- [2] J. Purboyo, "Pengaruh Perubahan Konstanta PID Pada Sistem Kontrol Hybrid Fuzzy-PID Pada Plant Orde Dua Secara Umum," *Tugas Akhir Universitas Diponegoro*, 2002.
- [3] A. K. Kumawat, S. Rana, and A. Sharma, "Design and Implementation of PID Controller for Second Order Plant and Comparison of its Performance with Fuzzy Logic based Controller," *Int. Jour. of Electronic and Electrical Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 19-24, 2014.
- [4] A. Rahman, A. I. Gunawan, R. T. Widodo, and L. Sulistijono, "Fuzzy Logic Untuk Kontrol Modul Proses Kontrol Dan Transduser Tipe DL2314 Berbasis PLC," *Tugas Akhir EEPIS*, 2011.
- [5] H. A. Jadmiko, "Rancang Bangun Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode PID-Fuzzy Hybrid Berbasis PLC Omron CJ1G," *Tugas Akhir Politeknik Negeri Bandung*, 2015.
- [6] R. S. Rathore, A. K. Sharma, and H. K. Dubey, "PLC based PID implementation in process control of temperature flow and level," *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 19-26, 2015.
- [7] C. Wei, X. Meixiang, and F. Kangling, "A PLC-based fuzzy PID controller for pressure control in coke-oven," in *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*, 2012, pp. 4754-4758.
- [8] N. Saad and M. Arrofiq, "A PLC-based modified-fuzzy controller for PWM-driven induction motor drive with constant V/Hz ratio control," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 28, no. 2, pp. 95-112, 2012.
- [9] R. G. Baldovino and E. P. Dadios, "Design and development of a fuzzy-PLC for an earthquake simulator/shake table," in *2014 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, 2014, pp. 1-6.
- [10] B. Bo, L. Chuang, and C. Meng, "Based on plc fuzzy control algorithm in the application of level control," in *2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, 2016, pp. 698-701.
- [11] Datasheet OMRON CJ1G. <http://www.omron.com>

