

Implementasi Logika Fuzzy berbasis PLC dalam Otomatisasi *Hydrocyclone* dan Kontrol Level Tangki PT. X

Vinca Vannya Putri S., Mat Syai'in, Lilik Subiyanto, Isa Rachman, Joko Endrasmono
e-mail: vincavannya@student.ppns.ac.id, mat.syaiin@ppns.ac.id, llksubiyanto@ppns.ac.id,
isarachman@ppns.ac.id, endrasmono@ppns.ac.id,

Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS Sukolilo Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 28 Juni 2023

Direvisi 26 Juli 2023

Diterbitkan 31 Juli 2023

Kata kunci:

Logika Fuzzy
Hydrocyclone
PLC

Kata kunci:

Fuzzy Logic
Hydrocyclone
PLC

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan logika *fuzzy* berbasis PLC dalam otomatisasi *hydrocyclone* dan kontrol level tangki di PT. X sebagai solusi mengatasi *human error*. Logika *fuzzy* sebagai tingkatan logika yang lebih tinggi daripada logika biner cocok untuk diterapkan dalam sistem MIMO. Performa logika *fuzzy* memiliki hasil cukup baik pada penelitian ini. Hal ini dibuktikan dengan persentase *error* kontrol *fuzzy* yang lebih kecil terhadap *set point* dibanding dengan kontrol manual yaitu sekitar 0,105% untuk variabel PIT_34001 dan 3,325% untuk variabel LIT_31002. Sedangkan pada kontrol manual persentase *error* mencapai nilai 1,705% untuk variabel PIT_34001 dan 10,075% untuk variabel LIT_31002. Selain itu, penggunaan kontrol *fuzzy* memiliki hasil yang cukup signifikan dalam pengurangan frekuensi terjadinya drop atau overshoot. Hal ini dibuktikan dengan persentase *error* kontrol *fuzzy* yang lebih kecil dibanding kontrol manual terhadap batas toleransi nilai stabil yang telah ditentukan yaitu sebesar 6% untuk *drop* dan 3,17% untuk *overshoot* pada variabel PIT_34001, serta 5,49% untuk *drop* dan 2,91% untuk *overshoot* pada variabel LIT_31002.

ABSTRACT

This research aims to implement PLC-based fuzzy logic in the automation of hydrocyclones and tank level control at PT. X as a solution to human error. Fuzzy logic, as a higher-level logic than binary logic, is suitable for MIMO system. The performance of the fuzzy logic shows promising results in this study. This is evidenced by the smaller percentage of fuzzy control error compared to the set point compared to manual control, which is around 0.105% for the variable PIT_34001 and 3.325% for the variable LIT_31002. In contrast, manual control has error percentages of 1.705% for the variable PIT_34001 and 10.075% for the variable LIT_31002. Furthermore, the use of fuzzy control significantly reduces the frequency of drops or overshoots. This is proven by the smaller percentage of fuzzy control error compared to manual control against the specified stable tolerance limits, which are 6% for drops and 3.17% for overshoots in the PIT_34001 variable, as well as 5.49% for drops and 2.91% for overshoots in the LIT_31002 variable.

Penulis Korespondensi:

Vinca Vannya Putri Setiawan,
Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS Sukolilo Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia, Kode Pos 60111
Email: vincavannya@student.ppns.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 895-1496-0701



1. PENDAHULUAN

Dalam industri pengolahan dan pemurnian bahan, penggunaan teknologi yang efisien dibutuhkan untuk peningkatan kualitas produk. *Hydrocyclone* merupakan salah satu separator yang umum digunakan pada industri pengguna teknologi pemisahan mekanis seperti industri kimia dan pertambangan [1]. Terdapat beberapa jenis *hydrocyclone* antara lain *closed-top hydrocyclone*, *parallel-flow hydrocyclone*, *high-pressure hydrocyclone*. Pada penelitian ini, jenis *hydrocyclone* yang digunakan adalah *closed-top hydrocyclone* [2]. Dalam pengoperasian *hydrocyclone*, penting untuk menjaga tingkat cairan dalam tangki agar tetap berada pada kondisi optimal agar proses pemisahan dapat berjalan dengan efisien. Pengendalian level tangki yang tepat memastikan pasokan cairan yang konsisten ke *hydrocyclone*. Akurasi level tangki yang rendah menyebabkan berkurangnya efisiensi kinerja *hydrocyclone*.

PLC merupakan kontroler yang umum digunakan di sektor industri. PLC memungkinkan otomatisasi yang lebih kompleks dan fleksibel dibandingkan dengan penggunaan kontroler sebelumnya yaitu manual relai. Dengan kemampuan program menggunakan fungsi-fungsi yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem, PLC memanfaatkan logika dan instruksi pemrograman yang lebih canggih dan terpusat [3]–[5]. Pada penelitian ini, digunakan PLC Allen-Bradley 1756-L83EP. PLC Allen-Bradley banyak ditemui pada industri, salah satunya pada salah satu industri pertambangan yang ada di provinsi Sulawesi Selatan [6]. Pada umumnya, sistem dalam industri merupakan semi-otomatis sistem dimana masih membutuhkan manusia sebagai pengontrol sistem. Hal ini menyebabkan mudah terjadinya *human error*. Sebagai contoh, dalam proses pemindahan *slurry ore* dari area *grinding* menuju *leaching* dengan menggunakan *hydrocyclone* sebagai separator di PT. X. Oleh karena itu, pengotomatisasian diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas [7].

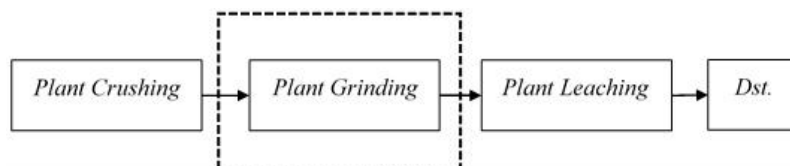
Fuzzy merupakan tingkatan logika yang lebih tinggi disbanding logika biner. *Fuzzy* sangat cocok diterapkan dakkam sistem MIMO (*Multi Input and Multi Output*) [8]. Pada penelitian yang dilakukan untuk mengevaluasi penggunaan logika fuzzy sebagai metode kontrol didapatkan hasil bahwa beberapa tahun terakhir T-S fuzzy memiliki hasil yang baik untuk kompleksitas sistem *non-linear* [9]. Dalam sistem industri yang kompleks penggunaan teknologi dan metode yang tepat merupakan salah satu cara untuk meminimalisir *human error*. Penerapan logika *fuzzy* pada sistem MIMO sebelumnya telah diterapkan pada prototipe hidroponik *greenhouse* dengan hasil yang cukup baik dimana logika *fuzzy* memiliki performa waktu respon rata-rata 61,8 detik [10]. Logika *fuzzy* juga telah diterapkan pada pengendalian kecepatan putar motor penggerak TWS dimana didapatkan waktu respon rata-rata sebesar 19,4 detik [11]. Oleh karena itu, penerapan logika *fuzzy* dalam otomatisasi *hydrocyclone* dan kontrol level tangki di PT. X diharapkan mampu membantu meminimalisir terjadinya *human error* serta mampu meningkatkan efisiensi dan kestabilan sistem terhadap terjadinya *noise*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir *human error* pada proses pemindahan *slurry* dari area *grinding* menuju area *leaching* serta meningkatkan efisiensi dan kestabilan sistem terhadap terjadinya *noise*. Untuk merealisasikan tujuan tersebut maka dilakukan tahapan-tahapan, yaitu pengumpulan *data plant* industri, perancangan sistem, pengujian sistem, serta analisa implementasi sistem.

2.1 Data Plant

Pengumpulan data ini dilakukan pada *plant* yang berlokasi di PT. X, Palu, Sulawesi Tengah. Data yang dikumpulkan difokuskan pada area *grinding*.



Gambar 1: Fokus Area



Pada area *grinding* terdapat beberapa proses, namun dalam penelitian ini kontrol sistem yang akan dibuat terfokus pada pemindahan *slurry* dari tangki *hopper* menuju *hydrocyclone* untuk selanjutnya didistribusikan menuju area *leaching*. Berdasar pada fokus area proses yang akan diotomatisasikan didapatkan data *device* yang digunakan sesuai pada Tabel I.

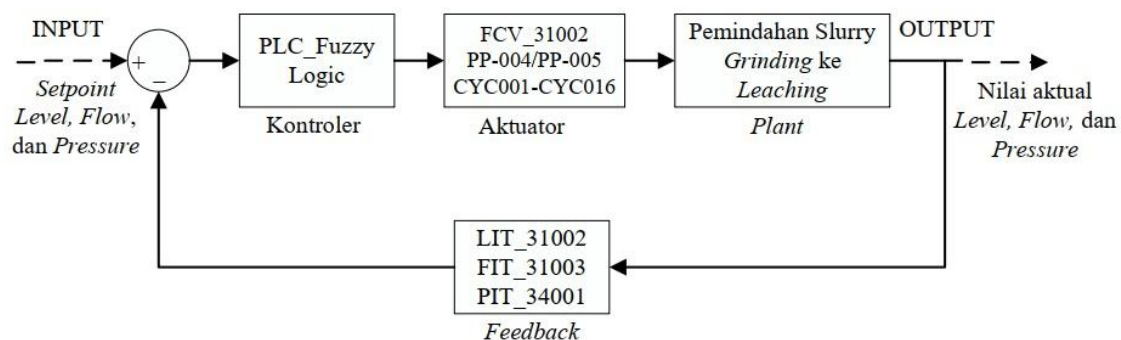
TABEL I : DATA DEVICE DI LAPANGAN

Nama Device	Jumlah (Unit)	Nama Tag	Parameter Fisik
Level Transmitter	1	LIT_31002	Jarak Maksimal 12m
Flow Transmitter	1	FIT_31003	Debit Maksimal 1250 m ³ /h
Pressure Transmitter	1	PIT_34001	Tekanan -100 kPa – 2400 kPa
Flow Control Valve	1	FCV_31002	Sinyal Elektrikal 4-20 mA
Pompa AC	2	PP_004/PP_005	Frekuensi 0-50 Hz
Valve	20	AV_31005 – AV_31008 dan CYC_001 dan CYC_016	-

Pengumpulan data pada *plant* juga meliputi *historical data plant* sebelum penambahan kontrol otomatis. Hal ini diperlukan untuk melakukan komparasi antara kontrol manual dengan kontrol otomatis dengan logika *fuzzy*. Diharapkan dengan adanya penambahan kontrol otomatis pada sistem mampu meminimalisir *human error* yang terjadi. Pengumpulan *data plant* dilakukan pada rentang waktu 05 Februari 2023 hingga 07 Februari 2023. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil rata-rata nilai PIT_34001 dan LIT_31002 melalui *export trend* pada SCADA. Kondisi optimal pada PIT_34001 yaitu dalam rentang 90 kPa – 100 kPa dan LIT_31002 yaitu dalam rentang 35% - 45%. *Historical data plant* juga meliputi pengamatan terhadap frekuensi terjadinya *drop* atau *overshoot* pada nilai PIT_34001 dan LIT_31002 yang diberikan oleh kontrol manual. Proses produksi di PT. X berlangsung selama 24 jam sehingga pengambilan data dilakukan ketika proses produksi sedang berjalan atau tidak diawali dari seluruh *plant* yang *shutdown*.

2.2 Perancangan Sistem

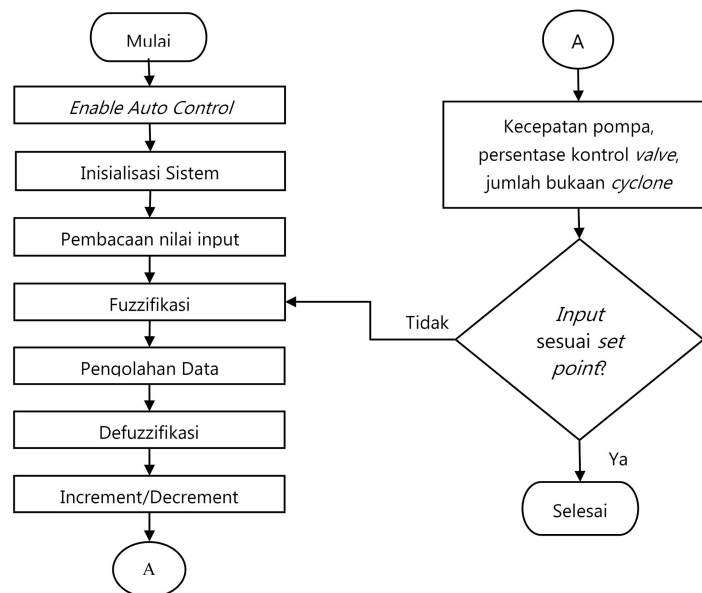
Perancangan sistem meliputi perancangan blok fungsional kontrol, pembuatan *flowchart* sistem, serta perancangan metode logika *fuzzy* dan program PLC. Gambar 2 merupakan diagram blok fungsional kontrol sistem pada penelitian ini. *Input* yang terbaca oleh PLC akan diolah dengan menggunakan logika *fuzzy* yang selanjutnya hasil *fuzzy* akan digunakan untuk mengatur aktuator.



Gambar 2: Diagram Blok Fungsional Kontrol

Setelah merancang diagram blok fungsional kontrol maka langkah selanjutnya adalah membuat *flowchart* sistem. Gambar 3 merupakan *flowchart* sistem yang akan dibuat.





Gambar 3: Flowchart Sistem

Dengan mengaktifkan *auto control* pada HMI maka kontrol menggunakan logika *fuzzy* akan beroperasi. Dalam penelitian ini hanya terdapat satu pompa yang akan dioperasikan. Langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan metode *fuzzy logic*. Perancangan *fuzzy* terdapat beberapa langkah diantaranya fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi [10]. Fuzzifikasi adalah ketika nilai *input* yang berupa angka akan diproses menjadi pernyataan *fuzzy* [11], untuk itu maka diperlukan untuk membuat keanggotaan nilai-nilai *input* dan *output* yang digunakan. Pada penelitian ini *fuzzy* yang digunakan merupakan *fuzzy* tipe sugeno yang menggunakan operator MIN. Tabel II merupakan nilai keanggotaan dari *input* logika *fuzzy*.

TABEL II: MEMBERSHIP INPUT FUZZY

Keanggotaan	PIT_34001 (kPa)	LIT_31002 (%)	FIT_31003 (m ³ /h)
Rendah	0 – 60	0 – 30	0 – 450
Agak Rendah	20 – 95	10 – 40	100 – 660
Optimal	90 – 100	30 – 50	600 – 820
Agak Tinggi	95 – 230	40 – 80	660 – 1290
Tinggi	120 – 250	50 – 100	820 – 1380

Setelah menentukan nilai keanggotaan dari *input* maka selanjutnya menentukan nilai keanggotaan dari *output*. Berikut ini merupakan nilai keanggotaan dari *output* logika *fuzzy*.

- a. FCV
 - Sangat Kecil = 10
 - Kecil = 20
 - Sedang = 53
 - Optimal = 65
 - Agak Besar = 70
 - Besar = 80
 - Sangat Besar = 90
- b. PUMP
 - Rendah = 10
 - Agak Rendah = 20
 - Optimal = 53
 - Agak Tinggi = 70
 - Tinggi = 80
- c. CYCLONE
 - Sangat Sedikit = 3
 - Sedikit = 7
 - Optimal = 10
 - Kurang Optimal 2 = 12
 - Sangat Banyak = 16



- Kurang Optimal = 9 - Banyak = 14

Setelah menentukan nilai-nilai keanggotaan maka selanjutnya adalah menentukan *rules* sebagai proses inferensi dari sistem yang dibuat. Gambar 4 hingga Gambar 11 merupakan *rules fuzzy* yang digunakan pada penelitian ini.

1. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is SangatSedikit) (1)
2. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
3. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Kecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
4. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
5. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
6. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
7. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
8. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
9. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
10. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
11. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Besar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
12. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
13. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
14. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
15. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Banyak) (1)
16. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
17. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)

Gambar 4: Rules Fuzzy Nomor 1-17

18. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Kecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
19. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
20. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
21. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
22. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Optimal)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
23. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
24. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
25. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Rendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
26. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
27. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
28. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
29. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Besar)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
30. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
31. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
32. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Optimal)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
33. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
34. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)

Gambar 5: Rules Fuzzy Nomor 18-34

35. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Kecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
36. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Banyak) (1)
37. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Optimal)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Banyak) (1)
38. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
39. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Besar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Banyak) (1)
40. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Kecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Banyak) (1)
41. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
42. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
43. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
44. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
45. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
46. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
47. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
48. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
49. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
50. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Optimal) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
51. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)

Gambar 6: Rules Fuzzy Nomor 35-51

52. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
53. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
54. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
55. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
56. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
57. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
58. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
59. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
60. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
61. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
62. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
63. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
64. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
65. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
66. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
67. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
68. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)

Gambar 7: Rules Fuzzy Nomor 52-68



- 69. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 70. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 71. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 72. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Besar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 73. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 74. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 75. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 76. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 77. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 78. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 79. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 80. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 81. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 82. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 83. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 84. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 85. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is Tinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)

Gambar 8: Rules Fuzzy Nomor 69-85

- 86. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 87. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Sedang)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 88. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Banyak) (1)
- 89. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 90. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 91. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 92. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 93. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Banyak) (1)
- 94. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 95. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 96. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 97. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 98. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is SangatBanyak) (1)
- 99. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 100. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakTinggi) then (FCV is Kecil)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 101. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 102. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)

Gambar 9: Rules Fuzzy Nomor 86-102

- 103. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 104. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 105. If (PIT34001 is Rendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 106. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 107. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 108. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 109. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 110. If (PIT34001 is Optimal) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 111. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 112. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 113. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Optimal)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal2) (1)
- 114. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is Rendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 115. If (PIT34001 is Tinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Optimal)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 116. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 117. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 118. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatKecil)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 119. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)

Gambar 10: Rules Fuzzy Nomor 103-119

- 120. If (PIT34001 is AgakRendah) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)
- 121. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Rendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is SangatBesar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 122. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Optimal) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakRendah)(CYCLONE is Sedikit) (1)
- 123. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is Tinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Sedang)(PUMP is Tinggi)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 124. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakRendah) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is AgakBesar)(PUMP is Optimal)(CYCLONE is Optimal) (1)
- 125. If (PIT34001 is AgakTinggi) and (LIT31002 is AgakTinggi) and (FIT31003 is AgakRendah) then (FCV is Besar)(PUMP is AgakTinggi)(CYCLONE is KurangOptimal) (1)

Gambar 11: Rules Fuzzy Nomor 120-125

Tahap selanjutnya adalah proses defuzzifikasi, pada T-S fuzzy perhitungan pada proses defuzzifikasi menggunakan nilai rata-rata terbobot (*weighted average*). Pada perancangan program PLC, khusus pada nilai *output* CYC dengan tipe data *real* akan diubah menjadi *integer* karena *output fuzzy* akan mengatur jumlah *valve* digital yang beroperasi. Program *fuzzy* pada PLC dibuat menggunakan algoritma prinsip *fuzzy* linear naik dan turun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan pada penelitian ini meliputi komparasi nilai *output* perhitungan *fuzzy*, komparasi nilai *error* kontrol manual *dan fuzzy*, serta kestabilan sistem terhadap nilai LIT_31002 dan PIT_34001 antara kontrol manual dengan kontrol *fuzzy*. Pengambilan data kontrol logika *fuzzy* dilakukan selama 3 hari yaitu pada tanggal 18 Februari 2023 dan 20-21 Februari 2023 dengan melakukan *export trend* dari SCADA.



3.2 Pengujian Metode Logika Fuzzy

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil keluaran pada sistem yang telah dibuat dengan Matlab dan nilai keluaran pada PLC. Tabel III menunjukkan persentase *error* antara Matlab dengan keluaran PLC.

TABEL III: PERSENTASE ERROR PLC DAN MATLAB

Input	Matlab	PLC	%Error
PIT_34001 = 20, LIT_31002 = 50, FIT_31003 = 300	FCV = 59,9	FCV = 59,86	0,067
	PUMP = 82,6	PUMP = 82,64	0,048
	CYCLONE = 7	CYCLONE = 7	0
PIT_34001 = 34, LIT_31002 = 70, FIT_31003 = 850	FCV = 21,8	FCV = 21,50	1,37
	PUMP = 84	PUMP = 83,99	0,011
	CYCLONE = 12	CYCLONE = 12	0
PIT_34001 = 32, LIT_31002 = 53, FIT_31003 = 550	FCV = 55,7	FCV = 55,72	0,036
	PUMP = 84	PUMP = 83,98	0,023
	CYCLONE = 8,17	CYCLONE = 8,17	0
PIT_34001 = 87, LIT_31002 = 23, FIT_31003 = 200	FCV = 82,5	FCV = 82,49	0,012
	PUMP = 82,2	PUMP = 82,25	0,06
	CYCLONE = 7	CYCLONE = 7	0
Rata-Rata Error%		0,14%	

3.3 Komparasi Nilai Error Kontrol Manual dengan Penambahan Logika Fuzzy

Untuk memudahkan komparasi nilai PIT_34001 dan LIT_31002 maka *set point* diambil dari rentang nilai toleransi kestabilan sehingga menjadi 40% untuk LIT_31002 dan 95 kPa untuk PIT_34001. Tabel IV menunjukkan nilai rata-rata LIT_31002 dan PIT_34001 dengan kontrol manual.

TABEL IV: RATA-RATA NILAI HASIL KONTROL MANUAL

Tanggal	PIT_34001 (kPa)	LIT_31002 (%)
05/02/2023	97,93	45,56
06/02/2023	97,30	43,86
07/02/2023	94,64	42,68
Rata-Rata	96,62	44,03

Tabel V menunjukkan nilai rata-rata LIT_31002 dan PIT_34001 dengan kontrol otomatis.

TABEL V: RATA-RATA NILAI HASIL KONTROL OTOMATIS

Tanggal	PIT_34001 (kPa)	LIT_31002 (%)
18/02/2023	95,46	40,35
20/02/2023	94,21	42,21
21/02/2023	95,64	41,45
Rata-Rata	95,10	41,33

Berdasar pada Tabel IV dan Tabel V dilakukan perhitungan terhadap *set point* sehingga nilai *error* kontrol manual dan kontrol logika *fuzzy* seperti pada Tabel VI.

TABEL VI: PERSENTASE ERROR KONTROL MANUAL DAN OTOMATIS

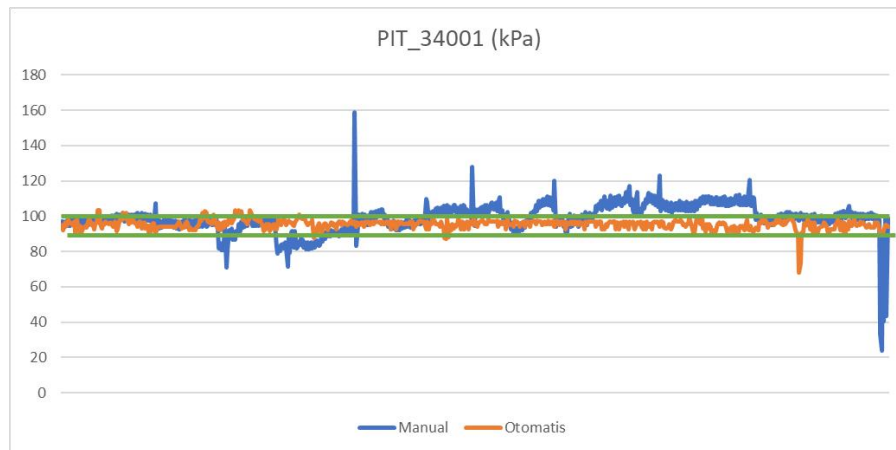
Variabel	Set Point	Manual	Otomatis	Error (%)	
				Manual	Otomatis
PIT_34001	95 kPa	96,62 kPa	95,10 kPa	1,705	0,105
LIT_31002	40 %	44,03 %	41,33 %	10,075	3,325

Merujuk pada Tabel VI dapat disimpulkan bahwa penggunaan kontrol otomatis memiliki persentase *error* yang lebih baik dibanding menggunakan kontrol manual.

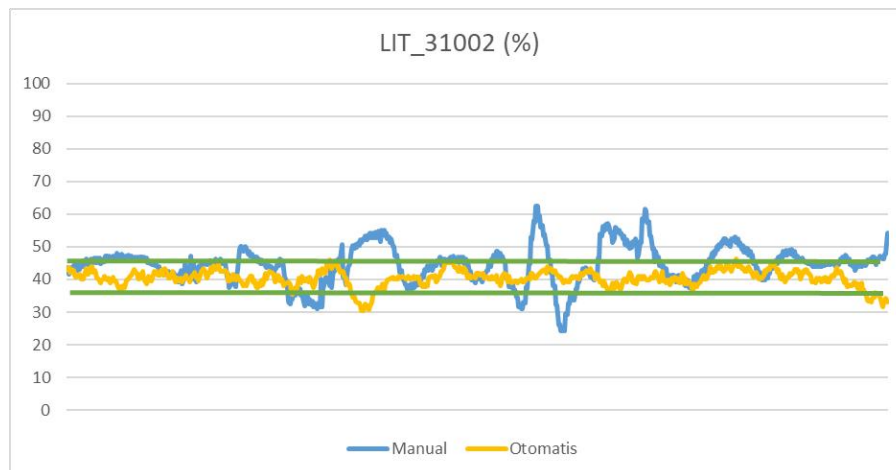


2.4 Komparasi Kestabilan Kontrol Manual dengan Penambahan Logika Fuzzy

Drop atau *overshoot* juga terjadi di penggunaan kontrol otomatis yang disebabkan oleh hal-hal diluar sistem. Komparasi kestabilan kontrol manual dan penambahan logika fuzzy dilakukan dengan membandingkan frekuensi terjadinya *drop* atau *overshoot* terhadap variabel kontrol serta dilakukan perbandingan seberapa jauh nilai *drop* dan *overshoot* yang terjadi. Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan komparasi nilai PIT_34001 dan LIT_31002. Garis hijau merupakan batas toleransi nilai stabil yaitu pada rentang 90-100 kPa untuk PIT_34001 dan 35-45 % untuk LIT_31002.



Gambar 12: Contoh Komparasi Kestabilan Kontrol Manual dan Otomatis PIT_34001



Gambar 13: Contoh Komparasi Kestabilan Kontrol Manual dan Otomatis LIT_31002

Pengamatan terhadap rata-rata nilai *drop* dan *overshoot* juga dilakukan berdasar pada *export trend* sehingga didapatkan data seperti pada Tabel VII dan Tabel VIII. Tabel VII merupakan pengamatan pada kontrol manual dan Tabel VIII merupakan pengamatan pada kontrol otomatis.

TABEL VII: NILAI *DROP* DAN *OVERSHOOT* PADA KONTROL MANUAL

Tanggal	Drop PIT_34001 (kPa)	Overshoot PIT_34001 (kPa)	Drop LIT_31002 (%)	Overshoot LIT_31002 (%)
05/02/2023	77,68	105,33	31,48	49,91
06/02/2023	67,80	103,19	34,38	47,59
07/02/2023	77,06	101,35	33,23	47,93



Tanggal	Drop PIT_34001 (kPa)	Overshoot PIT_34001 (kPa)	Drop LIT_31002 (%)	Overshoot LIT_31002 (%)
Rata-Rata	74,18	103,29	33,03	48,47

TABEL VIII: NILAI *DROP* DAN *OVERSHOOT* PADA KONTROL *OTOMATIS*

Tanggal	Drop PIT_34001 (kPa)	Overshoot PIT_34001 (kPa)	Drop LIT_31002 (%)	Overshoot LIT_31002 (%)
18/02/2023	85,63	101,65	33,14	45,27
20/02/2023	86,78	105,01	32,95	47,39
21/02/2023	81,39	102,85	33,17	46,28
Rata-Rata	84,6	103,17	33,08	46,31

Berdasar pada Tabel VII dan Tabel VIII dilakukan perbandingan nilai *drop* dan *overshoot* dari kontrol manual dan kontrol logika *fuzzy* seperti pada Tabel IX.

TABEL IX: PERSENTASE ERROR TERHADAP TOLERANSI NILAI STABIL

Variabel	Keterangan	Batas Toleransi	Nilai		% Error	
			Manual	Otomatis	Manual	Otomatis
PIT_34001 (kPa)	<i>Drop</i>	90	74,18 kPa	84,6 kPa	17,578	6
	<i>Overshoot</i>	100	103,29 kPa	103,17 kPa	3,29	3,17
LIT_31002 (%)	<i>Drop</i>	35	33,03 %	33,08 %	5,6	5,49
	<i>Overshoot</i>	45	48,47 %	46,31 %	7,71	2,91

Merujuk pada Tabel IX dapat disimpulkan bahwa penggunaan kontrol otomatis memiliki persentase *error* yang lebih kecil terhadap nilai toleransi kontrol. Dapat diamati pada grafik manual dan otomatis bahwa kontrol otomatis jauh lebih stabil yang dibuktikan dengan berkurangnya frekuensi *drop* dan *overshoot* yang terjadi. Berdasar analisis yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa kontrol otomatis menggunakan logika *fuzzy* memiliki hasil yang cukup baik.

4. KESIMPULAN

- Persentase *error* dari *output* PLC dan perhitungan matlab adalah 0,14% sehingga PLC merupakan kontroler yang kompatibel untuk diimplementasikan logika *fuzzy*.
- Kontrol otomatis memiliki persentase *error* yang lebih kecil terhadap *set point* dibanding dengan kontrol manual yaitu sekitar 0,105% untuk variabel PIT_34001 dan 3,325% untuk variabel LIT_31002. Sedangkan kontrol manual memiliki persentase *error* sekitar 1,705% untuk variabel PIT_34001 dan 10,075% untuk variabel LIT_31002.
- Berdasar Gambar 12 dan Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa kontrol otomatis lebih stabil dibanding dengan kontrol manual.
- Kontrol otomatis memiliki persentase *error* terhadap batas toleransi stabil yang lebih kecil dibanding dengan kontrol manual yaitu 6% untuk *drop* dan 3,17% untuk *overshoot* pada variabel PIT_34001, serta 5,49% untuk *drop* dan 2,91% untuk *overshoot* pada variabel LIT_31002. Sedangkan kontrol manual memiliki persentase *error* sebesar 3,29% untuk *drop* dan 17,578% untuk *overshoot* pada variabel PIT_34001, serta 5,6% untuk *drop* dan 7,71% untuk *overshoot* pada variabel LIT_31002.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. KUSMAYANTI, "THE INFLUENCE OF CONE LENGTH AND PRESSURE ON HYDROCYCLONE TO REMOVE TOTAL SUSPENDED SOLID," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [2] S. HUDA, "KAJIAN PENGENDAPAN PARTIKEL FLOKULEN DENGAN HYDROCYCLONE TERBUKA," 2019.
- [3] F. A. Putri, S. W. Jadmiko, and S. Yahya, "Rancang Bangun Internet of Things (IoT) pada Pengendalian Tegangan Simulator Input Output Berbasis PLC-ESP32," 2021. [Online]. Available: <http://things.ubidots.com/api/v1.6/devices/esp32>,



- [4] A. Malino, "PENGEMBANGAN SCADA UNTUK SIMULATOR WASTE WATER TREATMENT PLANT DENGAN MENGGUNAKAN PROTOKOL MQTT," 2022.
- [5] M. Ardiansyah, "SISTEM OTOMATISASI DAN MONITORING KETINGGIAN AIR PADA TANDON MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK DAN WATER LEVEL CONTROL BERBASIS PLC DAN HMI," 2018.
- [6] I. Hasan, "RANCANG BANGUN SIMULATOR SCREENING STATION PT. VALE INDONESIA TBK, TERINTEGRASI TEKNOLOGI VIRTUALISASI DAN CLOUD COMPUTING," Universitas Hasanuddin, Makassar, 2021.
- [7] I. Khoiril Anaam, T. Hidayat, R. Yuga Pranata, H. Abdillah, and A. Yhuto Wibisono Putra, "Pengaruh trend otomasi dalam dunia manufaktur dan industri," Serang-Banten, 2022.
- [8] A. Rahma Putri, Nasron, and Suroso, "Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman," vol. 3, no. 4, 2019.
- [9] T. Yang, N. Sun, and Y. Fang, "Adaptive Fuzzy Control for a Class of MIMO Underactuated Systems With Plant Uncertainties and Actuator Deadzones: Design and Experiments," *IEEE Trans Cybern*, vol. 52, no. 8, pp. 8213–8226, Aug. 2022, doi: 10.1109/TCYB.2021.3050475.
- [10] M. Harliman Saleh, W. Rosyad, I. Sutrisno, J. Endrasmono, and P. Pelayaran Surabaya Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, "PLC Greenhouse Automatic Temperature Control Using Fuzzy Logic Method to Optimize Pakcoy Growth," *International Journal Of Artificial Intelegence Research*, vol. 6, no. 1, pp. 2579–7298, 2022, doi: 10.29099/ijair.v6i1.362.
- [11] G. Laksana, "PROTOTYPE AUTOMATIC TRAVELLING WATER SCREEN CLEANER DENGAN METODE FUZZY LOGIC," 2020.

