

Perancangan Kontrol *Fuzzy Mamdani* Untuk Ketinggian Pusaran Air Pada Basin Silinder *Gravitation Water Vortex Power Plant*

M. Zaki Imamul Muradlo
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia
m.zakiimamulm@gmail.com

Ilmi Rizki Imaduddin
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia
ilmi.eeunuja@gmail.com

Amalia Herlina
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia
amaliaherlina1810@gmail.com

Alfi Tranggono Agus Salim
Program Studi Teknik Perkeretaapian
Politeknik Negeri Madiun
Kota Madiun, Indonesia
alfitranggono@pnm.ac.id

Abstrak— *Gravitation Water Vortex Power Plant* adalah suatu pembangkit listrik bertenaga air skala kecil yang memanfaatkan peristiwa terbentuknya pusaran air, yang mampu bekerja pada head yang rendah dengan turbin konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kontrol fuzzy mamdani terhadap pengujian setpoint untuk mengontrol ketinggian pusaran air. Seringkali mekanisme tersebut masih berupa cara-cara manual, semisal dengan sistem *valve* yang digerakkan secara manual oleh manusia dengan cara memutar atau menggerakkan *valve* ke atas atau ke bawah. Sehingga diperlukan suatu mekanisme pengendalian level ketinggian pusaran air secara otomatis pada alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* dengan memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian pusaran air. Program yang digunakan untuk ketinggian pusaran air pada alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* menggunakan logika fuzzy mamdani. Pada pengujian kontrol fuzzy mamdani terhadap ketinggian pusaran air menggunakan 2 dan 3 pompa, dengan turbine type S 4 sudu dan 6 sudu. Maka didapatkan nilai tertinggi pada pengujian setpoint 35 dengan RPM tertinggi 144,38. Dimana terjadi selisih error tertinggi 8% pada turbine type S 4 sudu 3 pompa. Untuk kontrol bukaan valve turbine type S 4 sudu 2 pompa didapatkan rata-rata 60,55°, kontrol bukaan valve turbine type S 6 sudu 2 pompa didapatkan rata-rata 58,83°, kontrol bukaan valve turbine type S 4 sudu 3 pompa didapatkan rata-rata 59,35°, dan kontrol bukaan valve turbine type S 6 sudu 3 pompa didapatkan rata-rata 61,34°

Kata Kunci: *Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP); Kontrol Fuzzy Mamdani; Sensor Ultrasonik; Arduino Uno.*

I. PENDAHULUAN

Energi menjadi sebuah kebutuhan yang sangat penting untuk kelangsungan hidup masyarakat, khususnya masyarakat di Indonesia. Energi fosil merupakan sumber energi yang sebagian besar digunakan di Indonesia. Kebutuhan akan energi di Indonesia akan terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman, semakin banyak energi yang

dibutuhkan tetapi berbanding terbalik dengan sumber energinya. Energi pusaran air yang biasa disebut dengan vortex dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik, baik dalam skala kecil ataupun dalam skala besar. Dalam pengembangan desa atau home industri yang tidak terjangkau dengan aliran listrik dari PLN, dapat memanfaatkan energi baru terbarukan yaitu energi pusaran air (vortex). Dalam penelitian pemanfaatan pusaran air sebagai energi alternatif energi baru terbarukan [1].

Viktor Schauburger (1943) mengembangkan penelitian energi pusaran air (vortex) dalam menerapkan pada pemodelan turbin air. Aliran pusaran air (vortex) yang disebut aliran pulsating atau pusaran yang terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam saluran yang mengalami perubahan. Kejadian aliran pusaran air (vortex) dianggap sesuatu kerugian pada aliran fluida dalam menghasilkan energi listrik terbarukan [2].

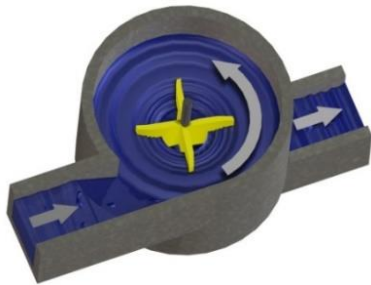
Penelitian ini didasari oleh kenyataan yang berlaku pada alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* bahwa pentingnya debit air yang stabil akan menghasilkan fenomena *vortex*. Debit air adalah kecepatan aliran zat cair per satuan waktu, debit air merupakan sebuah satuan yang digunakan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di aliran air. Kemampuan sistem pengaturan ketinggian pusaran air sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumber daya air. Untuk wadah air memerlukan mekanisme kontrol ketinggian permukaan air. Sehingga diperlukan suatu mekanisme pengendalian level ketinggian pusaran air secara otomatis yaitu dengan memanfaatkan sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian pusaran air, selanjutnya agar mekanisme ketinggian pusaran air dapat diatur sesuai dengan keinginan maka diperlukan suatu kendali yang tepat untuk dapat mengontrol ketinggian pusaran air.

Pada penelitian ini dalam mengendalikan ketinggian pusaran air menggunakan sensor ultrasonik dan modul arduino

uno. Sensor ultrasonik memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik sebagai media pengukuran, data pengukuran yang didapatkan bersifat analog dan dapat mendeteksi perubahan ketinggian suatu objek [3].

A. Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP)

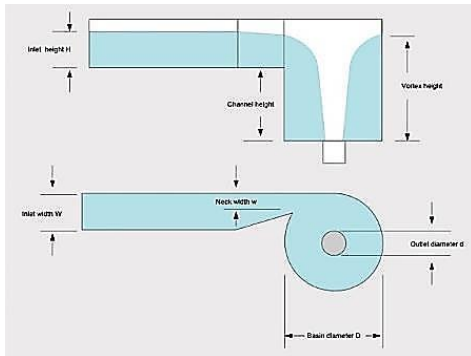
Gravitation Water Vortex Power Plant adalah suatu pembangkit listrik bertenaga air skala kecil yang memanfaatkan peristiwa terbentuknya pusaran air. Wadah basin silinder dapat menjadi outlet keluaran air dari pada inlet. Pusaran air akan terbentuk didalam basin ketika air mengalir menuju outlet akibat adanya gravitasi [4], dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema GVHP [5]

B. Basin Silinder

Wadah (basin) atau tempat penampung air yang nantinya akan terjadi pembentukan pusaran air (vortex) ini pada umumnya hanya dibentuk silinder [4], seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Basin Vortex Bentuk Silinder [4]

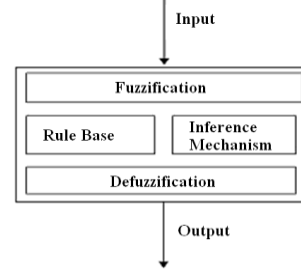
C. Teori Dasar Aliran

Aliran air memiliki energi yang dapat digunakan dalam menggerakkan turbin. Adapun pusaran air ada 2 macam, yaitu pusaran air dengan tekanan tinggi dan pusaran air dengan tekanan rendah. Aliran air dapat menghasilkan energi dari energi potensial ke energi kinetik. Dengan hukum fisika dasar bahwa kekekalan energi ialah aliran arus air yang mengalir apabila dilewatkan melalui turbin dalam air akan dapat diubah menjadi bentuk energi listrik [6].

D. Pengertian Logika Fuzzy

Logika fuzzy menggantikan kebenaran boolean dengan tingkat kebenaran. Logika fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistic, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat” [7].

E. Struktur Dasar Logika Fuzzy



Gambar 3. Diagram Blok Dasar Sistem Logika Fuzzy [8]

Menunjukkan diagram blok dasar sistem logika fuzzy. Adapun fungsinya, yaitu :

1. Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan signal input yang bersifat crisp (melainkan fuzzy) ke himpunan fuzzy dengan memakai operator fuzzifikasi.
2. Basis pengetahuan berisi asas data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas bagian input dan output dan menyusunnya pada sistem control.
3. Logika pengambilan keputusan merupakan inti dari logika fuzzy yang mempunyai keahlian samahalnya manusia dalam memilih keputusan. Dalam sistem atur fuzzy dapat disimpulkan dengan memakai implikasi fuzzy dan mekanisme inferensi fuzzy.
4. Defuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan suatu kesimpulan tentang sistem atur yang bersifat fuzzy menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat crisp dengan memakai operator fuzzifikasi.

F. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Fungsi keanggotaan ialah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan suatu input data kedalam nilai keanggotaannya yang disebut dengan derajat keanggotaan antara 0 sampai 1. Apabila U menyatakan himpunan universal dan A adalah himpunan fungsi fuzzy dalam U, maka A dapat dinyatakan sebagai pasangan terurut [7].

1. Representasi Linear

Representasi Linear Naik

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x \geq b \end{cases}$$

Representasi Linear Turun

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq b \\ (b - x)/(b - a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x \leq a \end{cases}$$

2. Representasi Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; a < x < b \\ (c - x)/(c - b) & ; b \leq x < c \end{cases}$$

3. Representasi Kurva Trapezium

Fungsi Keanggotaan :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & ; x \geq d \text{ atau } x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; a < x < b \\ (d - x)/(d - c) & ; c < x < d \\ 1 & ; b \leq x \leq c \end{cases}$$

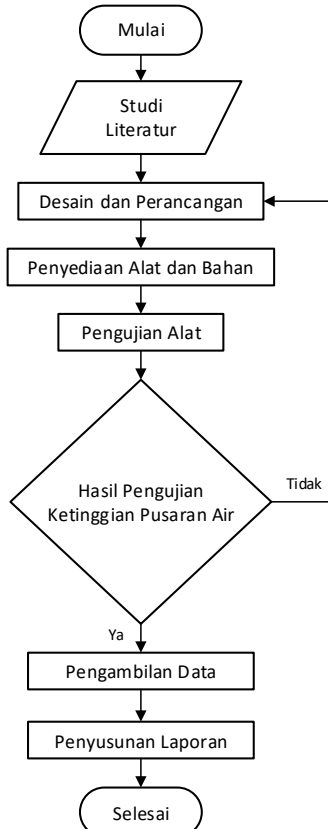
G. Fuzzy Mamdani

Metode mamdani sering dikenal dengan nama metode Min-Max. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975, antara lain [8] :

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy
Pada metode mamdani, variabel input ataupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.
2. Aplikasi Fungsi Implikasi
Pada metode mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah fungsi minimal.
$$\mu A \cap B = \min(\mu A [x], \mu B [x,])$$
3. Komposisi Aturan
Apabila suatu sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi setiap aturan. Ada 3 metode yang digunakan untuk melakukan inferensi sistem fuzzy, seperti max, additive dan probabilitas OR (probor).
4. Penegasan (*Defuzzyfikasi*)
Dalam proses *Defuzzyfikasi* ialah suatu himpunan fuzzy yang didapatkan dari komposisi aturan-aturan fuzzy, untuk ouput didapatkan dari suatu bilangan domain himpunan *fuzzy*, pada suatu nilai crisp tertentu sebagai *output*.

II. METODOLOGI

Dalam penyelesaian suatu masalah perlu dibuat diagram alur penyelesaian masalah untuk mempermudah dalam mengetahui beberapa tahapan yang perlu dikerjakan pada penelitian ini pada Gambar 4.

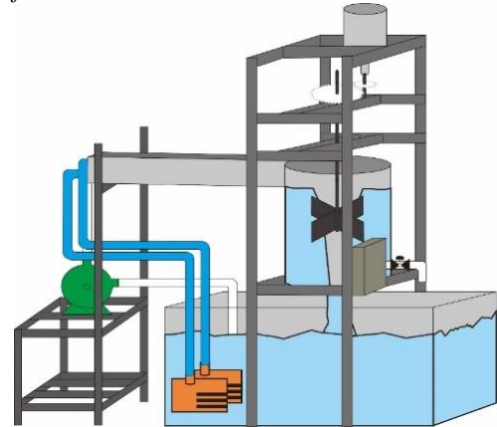


Gambar 4. Metode Penelitian

A. Prosedur Penelitian

1. Dibuat suatu basin silinder pada alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* yang akan dikontrol ketinggian pusaran air, ukuran basin silinder inlet 50 cm, outlet 5 cm, dan tinggi 60 cm.
2. Sensor ultrasonik dihubungkan dengan mikrokontroller, setelah itu output kondisi pusaran air dihubungkan dengan modul LCD 16x2.
3. Sumber daya listrik yang dihasilkan 1,80 Volt dengan beban lampu LED 5 Volt yang berasal dari pusaran air.
4. Ketinggian air yang di inginkan dalam percobaan 30 cm, 28 cm, 26 cm, 30 cm, 35 cm, 37 cm, 25 cm, 28 cm, 30 cm, 35 cm, 34 cm, dan 32 cm di program dengan menggunakan logika fuzzy mamdani, kemudian program di masukkan kedalam mikrokontroller atau Arduino.
5. Tachometer digunakan untuk mengukur RPM, Avometer digunakan untuk mengukur tegangan, dan meteran digunakan untuk mengukur ketinggian pusaran air.
6. Pompa yang digunakan dalam percobaan memakai 2 pompa dan 3 pompa.
7. Sistem kontrol di nyalakan.
8. Mengamati dan mencatat hasil dari ketinggian pusaran air, diameter pusaran, RPM, dan aktual.
9. Setelah semua data di catat, data di olah dengan menggunakan Microsoft Excel untuk mendapatkan tampilan dalam bentuk grafik.
10. Setelah semua data didapatkan kemudian penyusunan laporan penelitian.

B. Spesifikasi Alat Gravitation Water Vortex Power Plant



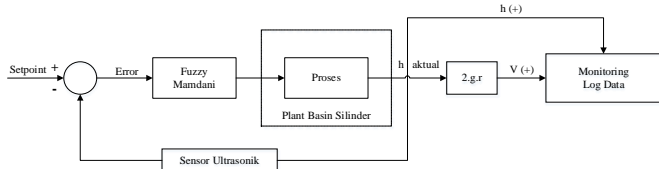
Gambar 5. Alat Gravitation Water Vortex Power Plant

Berikut merupakan spesifikasi mengenai alat Gravitation Water Vortex Power Plant adalah sebagai berikut :

1. Alat Gravitation Water Vortex Power Plant ini menggunakan 3 buah pompa yaitu, pompa pertama Shimizu Pompa Jet Pump, pompa kedua Halico Pompa Celup, dan pompa ketiga Halico Pompa Celup.
2. Alat Gravitation Water Vortex Power Plant ini menggunakan bak penampungan air sebagai tempat air, yang nantinya pompa akan menyedot air sebelum air memasuki inlet basin silinder, basin silinder salah satu komponen terpenting terjadinya fenomena vortex.

3. Alat Gravitation Water Vortex Power Plant ini menggunakan kontrol kran (valve) yang akan mengatur bukaan kran (valve) sebagai pengontrol aliran air, jika pada saat ketinggian pusran air melebihi batas setpoint.
4. Alat Gravitation Water Vortex Power Plant ini menggunakan generator 3 phase sebagai alat yang nantinya menghasilkan listrik, dari putaran turbin yang dikopel dengan gear akan dimanfaatkan untuk memutar generator pada saat itu peran generator sangat penting sebagai output yang menghasilkan listrik.

C. Diagram Blok Sistem Kontrol Fuzzy Mamdani



Gambar 6. Diagram Blok Sistem Kontrol Fuzzy Mamdani

Inputan dari fuzzy mamdani menggunakan sinyal error, yang dimaksud sinyal error adalah selisih dari nilai setpoint yang kita inginkan dengan data yang terbaca oleh sensor ultrasonik. Kemudian keputusan outputan dari fuzzy mamdani adalah bukaan kran (valve), selanjutnya nilai yang akan di proses pada motor servo merupakan hasil defuzzifikasi dari proses fuzzy mamdani. Dalam program fuzzy mamdani ini kita bisa mengubah nilai setpoint yang kita inginkan sesuai dengan fungsi keanggotaan fuzzy mamdani yang telah dibuat.

III. HASIL DAN ANALISA

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui hasil perancangan kontrol ketinggian pusran air menggunakan kontrol fuzzy mamdani yang telah dibuat, sedangkan analisis dimaksudkan untuk menguji kelayakan sistem yang telah dibuat.

A. Pengujian Response Kontrol Fuzzy Mamdani Terhadap Ketinggian Pusran Air

Pada tahap pengujian ini dilakukan dengan beberapa percobaan setpoint terhadap response kontrol fuzzy mamdani, untuk mengetahui ketinggian pusran air pada alat Gravitation Water Vortex Power Plant. Untuk pengujian kontrol fuzzy mamdani menggunakan 2 pompa dan 3 pompa.

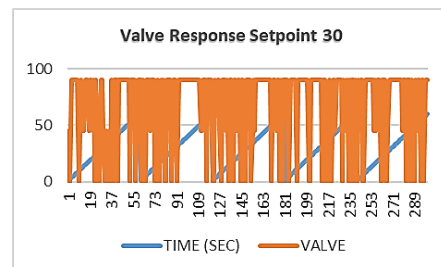
Tabel 1. Hasil Pengujian Kontrol Fuzzy Mamdani Terhadap Ketinggian Pusran Air

| No | Model Turbin | Ketinggian Pusran Air | Setpoint | RPM |
|----|----------------------------|-----------------------|----------|--------|
| 1 | Turbin S 4 Sudu 2 Pompa | 33 | 30 | 120,74 |
| | | 33 | 28 | 128,48 |
| | | 33 | 26 | 128,4 |
| 2 | Turbin S 6 Sudu 2 Pompa | 33 | 25 | 105,66 |
| | | 33 | 28 | 112,92 |
| | | 33 | 30 | 113,36 |
| 3 | Turbin S 4 Sudu 3 Pompa | 38 | 30 | 141,42 |
| | | 38 | 35 | 144,38 |
| | | 37 | 37 | 142,66 |
| 4 | Turbin S 6 Sudu 3 Pompa | 39 | 35 | 125,82 |
| | | 39 | 34 | 127,84 |
| | | 38 | 32 | 126,98 |

Pada Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian kontrol fuzzy mamdani terhadap ketinggian pusran air. Pada tahap pengujian ini dilakukan dengan memberikan setpoint yang berbeda. Pengujian tracking setpoint ini dilakukan supaya mengetahui performansi controller ketika diberikan setpoint yang berbeda, apakah masih dapat menjaga level pusran air agar tetap stabil. Hasil pengujian dilakukan dengan menentukan setpoint awal 30 maka didapatkan ketinggian pusran air 33 cm dengan error 3%, menggunakan 2 pompa turbin S 4 sudu.

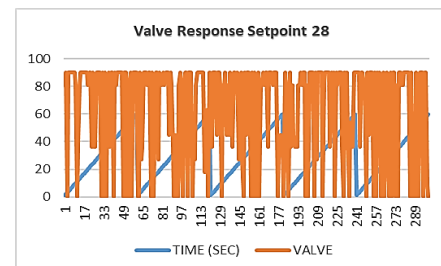
Untuk pengujian selanjutnya dilakukan variasi menggunakan 2 pompa dan 3 pompa dengan model turbin S 4 sudu dan 6 sudu, maka didapatkan RPM tertinggi 144,38 di setpoint 35 dan RPM terendah 105,66 di setpoint 25 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa model turbin S 4 sudu menggunakan 3 pompa dapat menghasilkan RPM yang maksimal dengan tracking setpoint rata-rata 34 cm dengan ketinggian pusran air 37,6 cm dan error 3,6 %

B. Pengujian Kontrol Valve Response Terhadap Keluaran Pusran Air



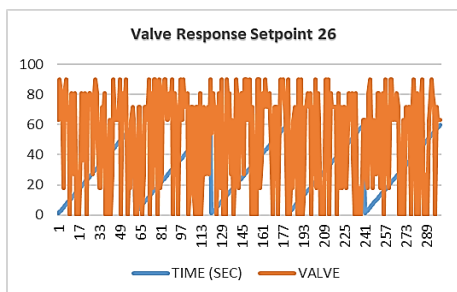
Gambar 7. Uji Tracking Setpoint 30 Untuk Kontrol Bukaan Valve Turbine Type S 4 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 7 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 30 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 30 posisi bukaan valve pada posisi 66,42° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



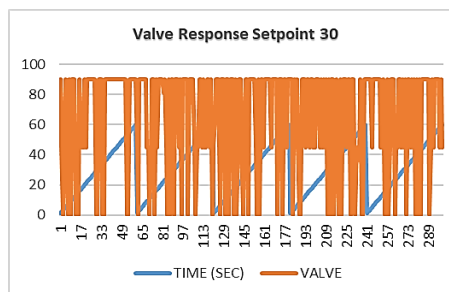
Gambar 8. Uji Tracking Setpoint 28 Untuk Kontrol Bukaan Valve Turbine Type S 4 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 8 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 28 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 28 posisi bukaan valve pada posisi 63,81° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



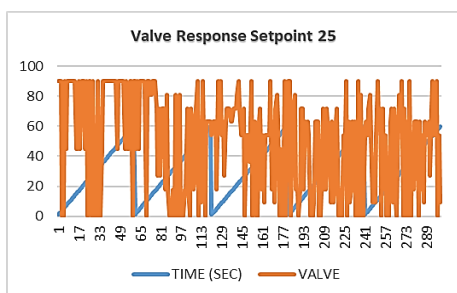
Gambar 9. Uji Tracking Setpoint 26 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 4 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 9 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 26 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 26 posisi bukaan valve pada posisi 51,42° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



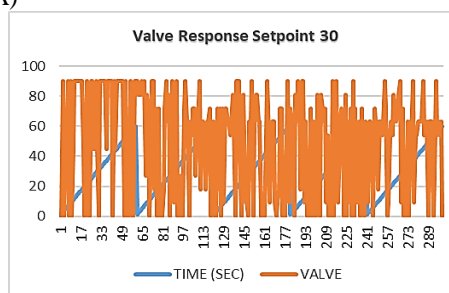
Gambar 12. Uji Tracking Setpoint 30 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 12 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 30 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 30 posisi bukaan valve pada posisi 65,1° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



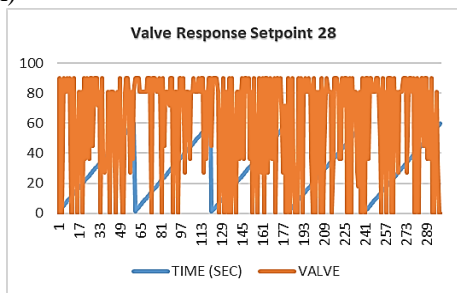
Gambar 10. Uji Tracking Setpoint 25 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 25 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 25 posisi bukaan valve pada posisi 50,37° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



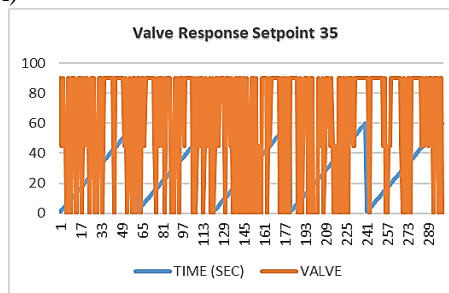
Gambar 13. Uji Tracking Setpoint 30 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 4 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 13 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 30 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 30 posisi bukaan valve pada posisi 49,38° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



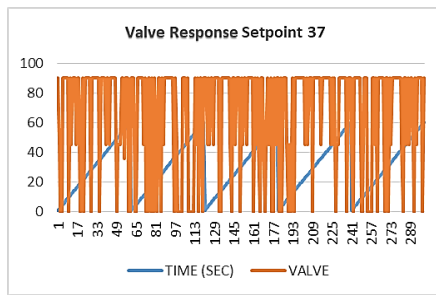
Gambar 11. Uji Tracking Setpoint 28 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 2 Pompa

Pada Gambar 11 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 28 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 28 posisi bukaan valve pada posisi 61,02° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



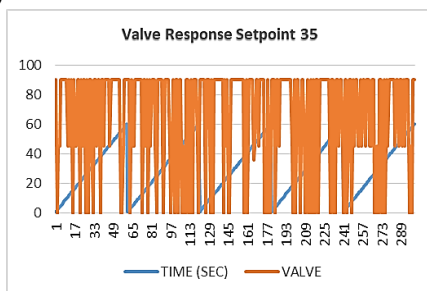
Gambar 14. Uji Tracking Setpoint 35 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 4 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 14 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 35 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 35 posisi bukaan valve pada posisi 63,9° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



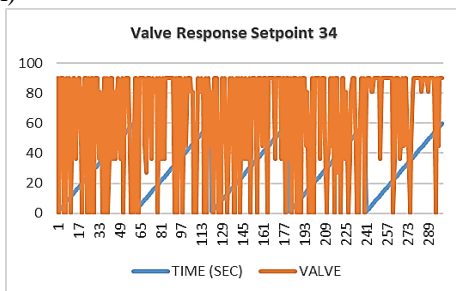
Gambar 15. Uji Tracking Setpoint 37 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 4 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 15 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 37 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 37 posisi bukaan valve pada posisi 64,77° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



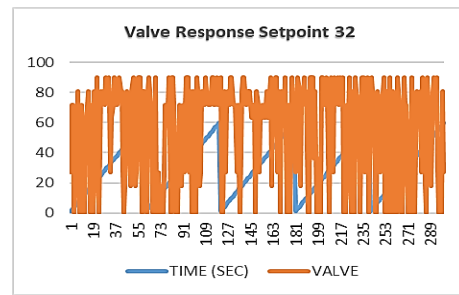
Gambar 16. Uji Tracking Setpoint 35 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 16 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 35 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 35 posisi bukaan valve pada posisi 64,32° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



Gambar 17. Uji Tracking Setpoint 34 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 17 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 34 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 34 posisi bukaan valve pada posisi 63,66° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)



Gambar 18. Uji Tracking Setpoint 32 Untuk Kontrol Buka-an Valve Turbine Type S 6 Sudu 3 Pompa

Pada Gambar 18 menunjukkan hasil dari analisa uji tracking kontrol fuzzy mamdani pada setpoint 32 bahwa pengendalian pusran air yang dikontrol oleh bukaan valve pada setpoint tertentu dan waktu tertentu. Maka hasil dari analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa pada setpoint 32 posisi bukaan valve pada posisi 56,04° dalam waktu pengukuran selama 5 menit. Dan bukaan valve pada posisi setengah nutup atas (SNA)

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada Perancangan Kontrol *Fuzzy Mamdani* Untuk Ketinggian Pusran Air Pada Basin Silinder *Gravitation Water Vortex Power Plant* dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Logika fuzzy mamdani yang dirancang dalam penelitian ini dapat diterapkan pada alat *Gravitation Water Vortex Power Plant*.
2. Pada pengujian kontrol fuzzy mamdani terhadap ketinggian pusran air menggunakan 2 dan 3 pompa, dengan turbine type S 4 sudu dan 6 sudu. Maka didapatkan RPM tertinggi yang dapat dihasilkan yaitu 144,38 terjadi pada pengujian setpoint 35. Dimana terjadi selisih *error* tertinggi 8% pada turbine type S 4 sudu 3 pompa.
3. Untuk kontrol bukaan valve turbine type S 4 sudu 2 pompa didapatkan rata-rata 60,55°, kontrol bukaan valve turbine type S 6 sudu 2 pompa didapatkan rata-rata 58,83°, kontrol bukaan valve turbine type S 4 sudu 3 pompa didapatkan rata-rata 59,35°, dan kontrol bukaan valve turbine type S 6 sudu 3 pompa didapatkan rata-rata 61,34°

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya sampaikan ucapan terima kasih kepada editor dan reviewer atas segala saran, masukan dan telah membantu dalam proses penerbitan naskah. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian dan memberikan bantuan moral dan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. K. Fitroh and P. H. Adiwibowo, "UJI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN VORTEX TIPE SUDU MELINGKUNG DENGAN VARIASI SUDUT KEMIRINGAN, Universitas Negeri Surabaya," *J. Tek. Mesin*, vol. 06, no. 01, pp. 97–104, 2018.
- [2] A. F. Sandeputra and P. H. Adiwibowo, "EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN VORTEX DENGAN VARIASI JARAK SUDU DENGAN SALURAN KELUAR BASIN, Universitas Negeri Surabaya," *J. Tek. Mesin*, vol. 05, no. 02, pp. 113–121, 2017.

- [3] A. Alawiah and A. Rafi Al Tahtawi, "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik," *J. Ilm. Manaj. Inform. dan Komput.*, vol. 01, no. 01, pp. 25–30, 2017.
- [4] S. Dhakal *et al.*, "Mathematical modeling, design optimization and experimental verification of conical basin: Gravitational water vortex power plant," *World Larg. hydro Conf. Portl. or USA 2015*, 2015.
- [5] C. Power, A. McNabola, and P. Coughlan, "A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)," *J. Clean Energy Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 112–119, 2016.
- [6] F. Dietzel, "Turbin Pompa Dan Kompresor, Jerman," 1990.
- [7] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. 2010.
- [8] A. Saleh, "Implementasi Metode Fuzzy Mamdani Dalam Memprediksi Tingkat Kebisingan Lalu Lintas," *Semnasteknomedia Online*, vol. 3, no. 1, 2015.