

Sistem Kendali Level Ketinggian Air Berbasis *Fuzzy Control* Menggunakan Simulink

Fani Kurniawan¹, Yulian Zetta Maulana², Risa Farrid Christianti³

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro,
Institut Teknologi Telkom Purwokerto
¹fanikurniawan9@gmail.com, ²yulian@ittelkom-pwt.ac.id, ³risa@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak

Teknologi zaman sekarang menunjukkan perkembangan yang sangat signifikan pada sistem otomasi. Pengisian air dalam suatu tangki merupakan proses yang banyak digunakan di industri minyak. Proses pengisian dan pembuangan air di dalam tangki air dalam keadaan tertutup akan menyulitkan bagi operator untuk mengontrol ketinggian level air dalam tangki. Karena itu penulis akan membuat suatu sistem untuk mengendalikan level ketinggian air menggunakan pengontrol *fuzzy*. Untuk mendapatkan nilai fuzzifikasi dari perbedaan nilai set point dan defuzzifikasi terhubung ke pompa motor. Sistem perancangan *fuzzy* didapat dengan membuat metode, fuzzifikasi, defuzzifikasi, dan *rule*. Penggunaan sensor ultrasonik pada saat percobaan menimbulkan lonjakan nilai yang diakibatkan karena sensor ultrasonik belum mendeteksi air, tetapi tidak berpengaruh signifikan pada respon level ketinggian. Pengendali saat valve dibuka memiliki efek pada respon yang dihasilkan, semakin dibuka valvenya maka bentuk respon yang dihasilkan kurang bagus tetapi untuk sistem tetap stabil. Untuk *output fuzzy* akan dihubungkan ke PLC, lalu dari PLC akan dihubungkan ke Kepserver dan tangki untuk mengatur kecepatan aliran ke tangki. Untuk menghubungkan Matlab dengan perangkat PLC menggunakan Kepserver. Performa terbaik terdapat pada pengujian respon bukaan valve 2x pengurangan dengan jangkauan fuzzifikasi 8000-24000 sedangkan untuk nilai performa *rise time* 66,458 s, *settling time* 110 s, *error steady state* -2%, dan *overshoot* 9%.

Kata kunci: *fuzzy*, sensor level, PLC, software OPC, Simulink, DC servo motor

Abstract

Today's technology shows very significant developments in automation systems. Filling water in a tank is a process that is widely used in the oil industry. The process of filling and draining water in a closed water tank will raise difficulty for the operator to control the water level in the tank. Therefore, we will create a system to control the water level using a fuzzy controller. To get the value of fuzzification from the difference in the value of the set point and defuzzification connected to the motor pump. Fuzzy design system was obtained by making methods, fuzzification, defuzzification, and rules. The use of ultrasonic sensors during the experiment caused a spike in value because the ultrasonic sensor had not detected water but had no significant effect on the response to altitude levels. When the valve is opened, the controller has an effect on the resulting response. The more the valve is opened, the worse the response will be but the system remains stable. The fuzzy output will be connected to the PLC which will be connected to the Kepserver and tank to regulate the flow rate to the tank. Matlab is connected with PLC devices using Kepserver. The best performance is found in the 2x reduction valve opening

response test with a fuzzification range of 8000-24000 while the performance value of time rise is 66.458 s, settling time is 110 s, steady state error is -2%, and overshoot is 9%.

Keywords: fuzzy, level sensor, PLC, OPC software, Simulink, DC servo motor

1. Pendahuluan

Perkembangan di bidang teknologi khususnya bidang elektro, menunjukkan perkembangan yang sangat signifikan seperti sistem otomasi pada pengisian air dalam suatu tangki merupakan proses yang secara luas banyak digunakan seperti perubahan *level* cairan di air, minyak dan cairan kimia lainnya. Proses pengisian atau pembuangan air dalam tangki, sekarang banyak digunakan di sistem industri yang membutuhkan. Proses pengisian dan pembuangan air atau cairan di dalam tangki air dalam keadaan tertutup akan menyulitkan bagi operator atau pengguna untuk mengetahui level ketinggian air dalam suatu tangki air [1].

Berdasarkan pemaparan diatas, penulis mengambil salah contoh permasalahan pada sebuah alat *water level* di suatu pabrik baik pabrik kimia, kilang minyak, minuman dan sejenisnya yang menggunakan tangki. Pada tangki yang dalam keadaan tertutup dan tidak dibekali dengan sistem otomasi maka akan menyulitkan bagi operator dan pengguna untuk mengetahui level ketinggian air atau cairan di dalam suatu tangki. Pada kasus tersebut maka diperlukan pengembangan pada alat *water level* supaya memudahkan operator dan pengguna dalam pemantauan level ketinggian air pada tangki, sehingga berdampak pada kenyamanan dan efisiensi bagi operator dan pengguna.

Pada penelitian ini akan membahas tentang sistem yang berfungsi untuk menyelesaikan masalah tersebut. Sistem *level* ketinggian air menggunakan teknologi *fuzzy control*. Logika *fuzzy* tidak memiliki ketergantungan pada variabel-variabel proses kendali sehingga pengendali ini banyak digunakan pada sistem yang memiliki sifat tidak *linear* dan perilaku dinamik yang berubah terhadap waktu [2]. *Fuzzy* memiliki 2 metode yaitu metode mamdani dan metode sugeno, metode mamdani itu sendiri merupakan metode yang berguna untuk penarikan kesimpulan atau suatu keputusan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti, sedangkan metode sugeno hampir sama dengan metode mamdani hanya saja *outputnya* bukan himpunan *fuzzy* tetapi berupa konstanta atau persamaan linear. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode mamdani dikarenakan metode mamdani berupa himpunan *fuzzy* dan hasilnya berbentuk range.

Pada penelusuran yang dilakukan oleh penulis, terdapat sebuah riset terkait sistem *fuzzy control* untuk mengukur *level* ketinggian air menggunakan Simulink. Hanya saja beberapa riset masih menggunakan pengontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) dan belum menggabungkan Simulink Matlab dengan *water levelnya*. Maka dari itu penulis merancang sebuah sistem untuk mendapatkan level ketinggian air dengan menggabungkan *water level* dan menggunakan Simulink yang digunakan untuk melakukan semua proses yang dijadikan sebagai proses mendapatkan level ketinggian air yang stabil.

Pada penelitian ini menggunakan *Programmable Logic controller* (PLC) yang akan dihubungkan ke Kepsriver. Kemudian dari Kepsriver akan mengirimkan data *output* tegangan analog dan *output* tegangan sensor level ke Simulink Matlab yang selanjutnya akan diproses bersama *fuzzy control* dan kemudian akan mendapatkan keluaran yang akan dijadikan sistem stabilnya pada *level* ketinggian air. Sebelum melakukan percobaan, penulis melakukan kalibrasi sensor *level* dan mencari nilai set point yang bertujuan untuk mengetahui pembuatan pada konfigurasi PLC sebagai stabilnya sistem dan juga sebagai

masukan pada kecepatan DC servo motor. Sedangkan alat *water level* untuk mengetahui *outputnya* apakah *level* ketinggian air stabil sesuai dengan perancangan atau tidak.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kendali Logika Fuzzy

Sistem *fuzzy* merupakan sistem pengontrol yang berdasar pengetahuan (*Knowledge Based System*) atau berdasar aturan (*Rule Based System*). Bagian utama sistem *fuzzy* yaitu dasar pengetahuan yang terdiri atas aturan-aturan JIKA-MAKA. Dasar kendali logika *fuzzy* terdiri dari fuzzifikasi yang merupakan pemetaan ruang *input* dan ruang *output*. Basis pengetahuan, yang berisi aturan-aturan *fuzzy* yang digunakan untuk pengendalian skalar, berdasarkan logika dan intuisi manusia, mekanisme *fuzzy reasoning*, *decision making logic*, inferensi *fuzzy* yang menggunakan berbagai logika *fuzzy* seperti logika AND, OR, dan NOT. Defuzzifikasi merupakan proses perubahan nilai *fuzzy* ke bentuk nilai *crisp* [3].

Di dalam logika *fuzzy* terdapat 2 metode yaitu metode mamdani dan metode sugeno. Metode mamdani merupakan salah satu bagian dari *fuzzy inference* sistem yang digunakan untuk penarikan kesimpulan atau suatu keputusan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti. Sedangkan metode sugeno, metode inferensi *fuzzy* untuk aturan yang direpresentasikan dalam bentuk *IF-THEN* di mana *output* sisten tidak berupa himpunan *fuzzy* melainkan berupa konstanta atau linier.

2.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan kesepakatan yang digunakan untuk dasar himpunan *fuzzy* pada universal U dari bilangan riil. Fungsi keanggotaan yang sering digunakan yaitu *S-function*, *π -function*, *triangular*, *trapezoid*, *exponential*, *klir* dan *folger* [4]. Representasi Linear Naik ketika kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotannya nol bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotannya lebih tinggi. Representasi Linear Turun garis lurus dimulai dari domain dengan derajat keanggotannya tertinggi pada sisi kiri, dan bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotannya lebih rendah. Representasi Kurva Segitiga merupakan representasi gabungan antara dua garis *linear* pada *membership function* kurva segitiga berdasarkan jenis *type* tirmf. Representasi Kurva Trapesium merupakan bentuk representasi kurva segitiga hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotannya 1 dan pada *membership function* yang digunakan trapesium dengan *type* trapmf. Representasi Kurva Bentuk S adalah kurva pertumbuhan dan penyusutan merupakan kurva-S yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tidak *linear*.

2.3 Simulink

Simulink adalah merupakan *software* Matlab yang berbasis notasi diagram blok. Menggunakan Simulink untuk membuat model sistem nonlinear yang kompleks, model Simulink dapat menyertakan komponen kontinyu dan diskrit. Model Simulink dapat menghasilkan animasi grafis yang menunjukkan kemajuan simulasi secara visual, secara signifikan meningkatkan pemahaman tentang perilaku sistem. Di masa lalu untuk mengembangkan model komputer sistem dinamik dimulai dari diagram blok diterjemahkan ke dalam bahasa pemrograman. Praktek ini melibatkan duplikasi usaha,

karena sistem dan pengontrol harus dijelaskan dua kali sekali dalam bentuk diagram blok dan dalam bahasa pemrograman [5].

2.4 PLC (*Progammmable Logic Controller*)

PLC merupakan suatu rangkaian elektronik yang bisa bekerja berbagai fungsi kontrol pada suatu *level-level* yang rumit. PLC juga dapat diprogram, dikendalikan, dan dioperasikan oleh *user* atau operator. Pada program PLC digambarkan dengan garis pada diagram ladder. Keuntungan dari PLC itu sendiri yaitu pemantauan dilakukan dari jarak jauh, mengurangi terjadi kesalahan yang disebabkan oleh human error, dll [6].

2.5 OPC (*OLE For Process Control*)

OLE merupakan kependekan dari *Object Linking and Embedding*. OLE sendiri merupakan teknologi yang dapat menampilkan suatu objek dari program aplikasi lain, OLE sendiri dibagi 2 jenis yaitu *linking* sebagai hubungan antara kedua aplikasi dan *embedding* untuk memperbaharui data jika ada perubahan data. OPC merupakan suatu konektivitas yang digunakan untuk memberikan informasi secara bergantian antara *hardware* pada suatu plant dengan *software* yang digunakan untuk memantau [7]. OPC juga dirangkai untuk menjembatani berbagai *software* yang berbasis *Windows* dengan perangkat maupun aplikasi dengan tujuan untuk kontrol proses.

2.6 Sistem Tangki

Sistem tangki terdiri dari katup air, tangki, sensor level, dan *controller* [8]. Ketinggian air dalam tangki dideteksi dengan sensor level dan dikonversi ke dalam sinyal yang dapat diterima oleh controller. Untuk mencari nilai *error* dan perubahan kesalahan dengan membandingkan sinyal level dengan nilai level yang dikehendaki. Untuk mengendalikan level cairan dalam tangki bisa dengan cara mengatur bukaan *valve* yang dikonfigurasi sesuai dengan aturan *fuzzy sugeno*.

2.7 Arduino Uno

Arduino Uno yaitu sebuah papan board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Pada Arduino Uno memiliki 14 pin *input* atau *output*, di mana 6 pin di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran *Pulse Widht Modulation* (PWM), 6 pin *input* analog, satu akses koneksi *Universal Serial Bus* (USB), kabel power, dan tombol reset [9].



Gambar 1. Arduino Uno

2.8 PWM to Voltage

PWM to Voltage adalah sistem mengubah *input* sinyal PWM 0-5 V menjadi *output* analog 0-10 V. Seluruh sistem dapat dialiri daya dari catu daya DC 15-24V (>500mA). Frekuensi modulasi lebar pulsa *input* yang direcomendasikan adalah 500Hz +/- 2% [10].



Gambar 2. PWM to Voltage

2.9 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah jenis sensor yang memanfaatkan sebuah pancaran gelombang. Sensor ultrasonik terdiri dari berbagai rangkaian pemancar ultrasonik yang disebut juga transmiter dan rangkaian penerima ultrasonik atau yang sering disebut receiver *output*. Sensor ultrasonik merupakan jenis sensor *output*nya berupa pulsa yang mempersentasikan jarak. Cara kerja sensor ultrasonik yaitu dari sebuah pantulan suatu gelombang sehingga dapat digunakan untuk menafsirkan jarak suatu benda dengan frekuensi tertentu [11].



Gambar 3. Sensor ultrasonik

3. Metode Penelitian

3.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yaitu miniatur plant tangki, PLC Schneider, Arduino Uno, sensor ultrasonik, PWM to Voltage dan juga laptop.

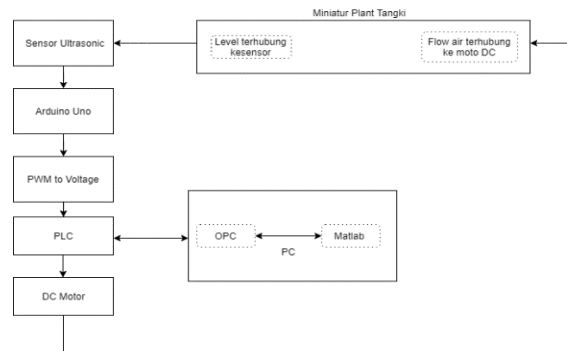
3.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Software* Matlab, Schneider electric SoMachine Basic, Kepserver, dan Arduino IDE yang akan digunakan dalam pada penelitian sebagai berikut:

1. Matlab, Matlab yang akan dijadikan sebagai simulasi, analisis, dan juga dihubungkan ke miniatur *plant* tangki dan tangki digunakan untuk dalam mengukur level ketinggian air. Matlab banyak digunakan dalam penelitian di bidang pengembangan sistem, desain, dan lain-lain. Pada penelitian ini untuk perancangan sistem atau simulasi berbasis Simulink yang terdapat pada matlab. Simulink yang akan digunakan untuk pemodelan sistem level ketinggian air berbentuk blok diagram yang nantinya hasilnya dapat dilihat bentuk gelombang melalui icon scope dan bisa dilihat melalui miniatur plant tangki.
2. Schneider Electric SoMachine Basic yang digunakan sebagai *software* untuk membuat ladder program pada PLC dengan tipe modicon M221, *software* ini juga digunakan sebagai untuk mengkonfigurasi dan mengkomunikasikan seluruh alat yang terhubung dengan kontrol, logika, HMI dll. Pada penelitian ini untuk memprogram PLC berbasis Schneider electric SoMachine Basic yang akan memprogram PLC sesuai dengan penelitian yang akan dibuat nanti.

3. Kepserver merupakan *software* yang digunakan sebagai penghubung bagi OPC. Kepserver nantinya akan menghubungkan PLC dengan Matlab dengan mengirimkan data sesuai yang terdapat pada PLC.
4. Arduino IDE, menggunakan Arduino IDE sebagai media untuk mengkoneksikan sebuah perintah-perintah yang akan dirancang agar mikrokontroler dapat mendeteksi nilai yang dihasilkan dari sensor ultrasonik.

3.3 Diagram Blok Sistem



Gambar 4. Diagram blok sistem

Pada Gambar 4 merupakan diagram blok hubungan antar *hardware* pada penelitian ini. Hubungan antar *hardware* dimulai dari miniatur *plant* tangki yang terhubung ke sensor ultrasonik. Pada penelitian ini sensor yang digunakan yaitu sensor ultrasonik yang akan mengukur *level* ketinggian air pada tangki. Sensor ultrasonik dikoneksikan dan diprogram melalui *software* Arduino IDE untuk mengukur waktu *delay* pantulan kemudian akan dikonversi oleh Arduino Uno menjadi tegangan. Selanjutnya *output* PWM Arduino Uno akan dihubungkan melalui PWM to Voltage untuk memberikan tegangan yaitu dari 0 sampai 5 volt yang kemudian akan dikonversi oleh PWM to Voltage dengan *output* tegangan 0-10 volt.

Pada *output* PWM to Voltage akan dihubungkan pada PLC untuk mengirimkan tegangan 0-10 volt. Kemudian PLC nantinya akan mengirim dan menerima data dari PC yaitu data untuk OPC dan Matlab, kemudian PLC juga mengirimkan sinyal ke motor DC yang digunakan untuk mengatur flow air, motor DC akan terhubung ke *water level* pada miniatur *plant* tangki.

3.4 Perancangan Pengendali Logika Fuzzy

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi dilakukan dengan tujuan untuk memberikan nilai *level* ketinggian sesuai yang diinginkan oleh penulis. *Input* yang digunakan 1 masukan, masukan akan diberi nama tegangan. Dalam *input* akan diatur berapa fungsi keanggotaan mulai dari range, parameter, *type*, dan juga diatur untuk current *membership function* yang akan digunakan nantinya. *Input* dari penelitian ini merupakan tegangan analog yang terhubung ke PLC.

2. Rule

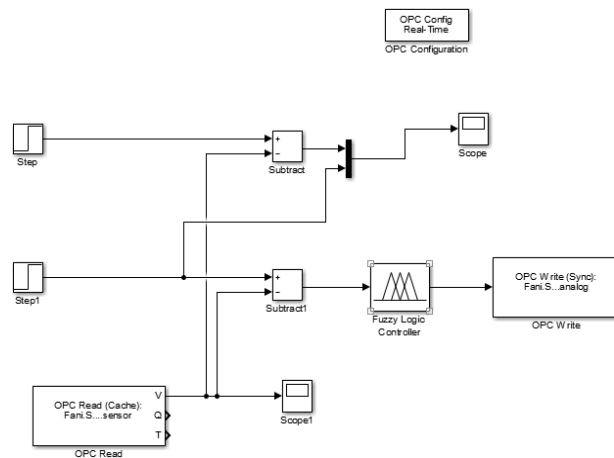
Rule dilakukan dengan tujuan untuk membuat semua sistem bekerja dengan stabil, mulai dari *input* dan defuzzifikasi. *Rule* sangat penting karena di sini akan mengetahui berhasilnya atau tidak, walaupun memasukan bebas *rule*-nya tetapi jika tidak tepat akan berakibat sistem tidak berjalan dengan sesuai keinginan. *Rule* di penulisan ini bertujuan

untuk mendapatkan *output* level ketinggian air yang yang stabil dan akurat sesuai dengan tujuan penulisan ini.

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dilakukan dengan tujuan untuk membuat keadaan kecepatan motor dalam keadaan bergerak melambat, sedang, dan mempercepat. Pada defuzzifikasi diatur nilai fungsi keanggotannya dari range, parameter dan juga tipe mana yang lebih cocok digunakan untuk membuat sistem stabil. Defuzzifikasi penelitian ini akan terhubung ke DC servo motor yang mengatur kecepatan aliran pada tangki.

3.5 Diagram Blok Simulink



Gambar 5. Diagram blok Simulink

Pada Gambar 5 merupakan diagram blok untuk pengujian pada penelitian ini, mulai dari blok step sebagai masukan dan nilai masukan didapatkan dari nilai set point. Sedangkan untuk blok *OPC Read* digunakan sebagai masukan nilai sensor yang nantinya akan masuk ke blok *subtract*, kemudian blok *subtract* pada pengujian ini digunakan untuk pengurang dari *step* dan blok *OPC Read Sensor* yang nantinya *output* blok *subtract* ke *scope* dan blok pengontrol *fuzzy*. Blok pengontrol *fuzzy* digunakan untuk memproses nilai dari *output* *subtract* dan juga memproses nilai yang sudah diatur untuk mendapatkan kestabilan, dan blok *OPC Write* digunakan untuk nilai analog pada PLC.

3.6 Metode Pengujian

1. Metode Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan guna mengetahui tingkat akurasi pada sensor dengan cara melakukan kalibrasi pada saat kondisi awal sensor stabil atau mengalami nilai yang berubah-ubah. Pengujian sensor dilakukan dengan cara kalibrasi pada saat kondisi *level* air kosong hingga penuh, maka akan mendapatkan tegangan di setiap *level* ketinggian yang berbeda-beda. Untuk tegangan dengan cara melihat pada multimeter karena *output* sensor diukur menggunakan multimeter untuk memudahkan. Hasil percobaan tadi akan dimasukkan sebagai pengujian kalibrasi sensor.

2. Metode Pengujian Analisa Tanggapan Waktu

1. *Rise Time*, cara pengujiannya dengan mengukur dari respon mulai $t = 0$ sampai dengan respon memotong sumbu *error steady state* yang pertama.

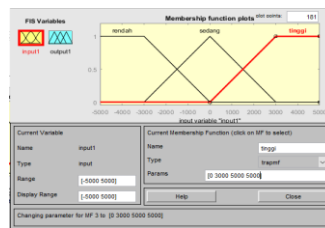
2. *Settling Time*, cara pengujiannya yaitu dengan cara menyatakan ukuran waktu respon telah masuk $\pm 5\%$ atau $\pm 2\%$ atau $\pm 0.5\%$ dari respon *error steady state*.
3. *Overshoot*, cara pengujiannya dengan melihat perbandingan nilai maksimum respon yang mencapai nilai *error steady state* dibanding dengan nilai *error steady state*.
4. *Error Steady state*, cara pengujiannya yaitu dengan mengukur nilai %*error* posisi pada keadaan *steady state* atau tunak.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perancangan Sistem Fuzzy

1. Perancangan Fuzzifikasi Input

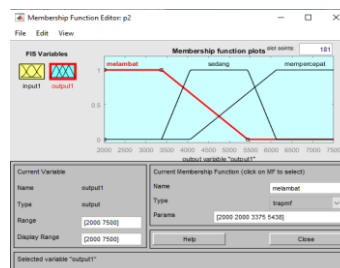
Pada perancangan *input* digunakan sebagai nilai acuan pada tegangan analog. Perancangan *input* pada logika *fuzzy* ini didapatkan dari nilai tegangan analog yang digunakan pada PLC tegangan analog ini digunakan untuk mengatur kecepatan DC servo motor. Untuk perancangan *input* menggunakan *software* Simulink matlab seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Fuzzifikasi input

2. Perancangan Defuzzifikasi Output

Pada perancangan defuzzifikasi *output* merupakan defuzzifikasi yang digunakan percobaan pada penelitian ini. Perancangan defuzzifikasi menggunakan 3 anggota membership function yaitu melambat, sedang, dan mempercepat. Pada Gambar 7 defuzzifikasi merupakan *output* sensor karena digunakan untuk mengukur level ketinggian air. Defuzzifikasi menggunakan range yang digunakan pada *output* sensor yaitu 2000 sampai dengan 7500 volt sesuai dengan kalibrasi pada sensor level.



Gambar 7. Defuzzifikasi output

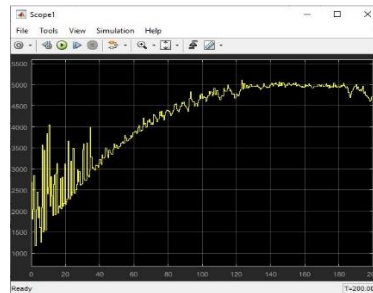
3. Perancangan Rule Base

Pada perancangan pengontrol logika *fuzzy* tahapan yang paling penting yaitu perancangan *rule base*. *Rule base* sendiri merupakan aturan yang menghubungkan antara *input* dan *output* dalam suatu himpunan *fuzzy* supaya mendapatkan respon yang stabil sesuai dengan tujuan penelitian ini. Pada *rule base* ini bertujuan untuk mengatur level ketinggian air sehingga mendapatkan level yang stabil dan kecepatan respon. Berikut *rule*

base pengontrol *fuzzy* yang menghubungkan antara *input* dan *output* dalam bentuk himpunan *fuzzy* pada penelitian ini sebagai berikut:

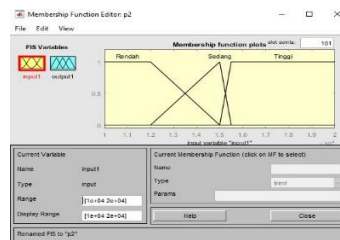
1. Jika *input* tinggi maka *output* akan mempercepat
2. Jika *input* sedang maka *output* sedang
3. Jika *input* rendah maka *output* akan melambat.

4.2 Pengujian Kecepatan Respon Menggunakan Bentuk *Fuzzy* Berbeda



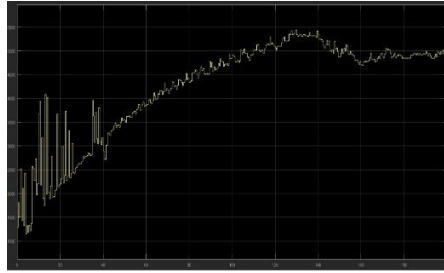
Gambar 8. Pengujian kecepatan respon bukaan valve 3/4 ke 3

Gambar 8 merupakan hasil pengujian ketiga untuk respon kecepatan dengan bukaan valve 3/4. Pada Gambar 8 bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan mengalami naik begitu sampai dengan stabil di posisi 5000, begitu juga dengan level ketinggian. Pada saat stabil maka posisi valve dibuka pelan-pelan sampai mencapai posisi 3/4 bukaan maka air akan stabil, untuk level ketinggian pada pengujian ketiga di 215 mm. Pada percobaan ketiga nilai error steady state 0,08%, sedangkan untuk overshoot 0%, nilai *rise time* 125 s, dan *settling time* sebesar 125 s.



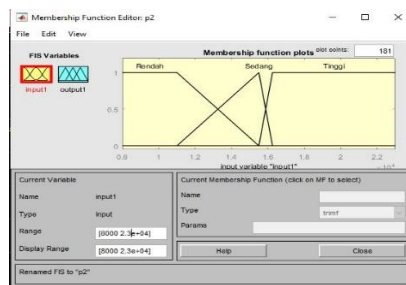
Gambar 9. Fuzzifikasi *input* pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 ke 3

Pada Gambar 9 merupakan fuzzifikasi *input* yang digunakan untuk pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 ketiga, di mana range yang digunakan pada *input* 10.000 sampai dengan 20.000. Range yang digunakan berpengaruh dalam respon pengujian kecepatan semakin besar jarak maka respon stabilnya di bawah set point. Dilihat pada Gambar 8 bentuk responnya cukup bagus di range 10.000 sampai 20.000.



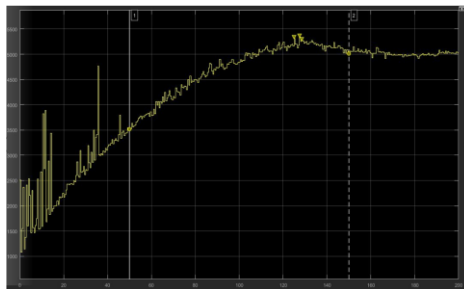
Gambar 10. Pengujian kecepatan respon bukaan valve 3/4 ke 7

Gambar 10 merupakan hasil pengujian ketujuh untuk bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan naik begitu sampai dengan stabil di posisi 5000 dengan waktu 200 detik, begitu juga dengan *level* ketinggiannya. Dilihat bentuk respon pada Gambar 10 bagus dan stabil. Untuk *level* ketinggian air pada pengujian ketujuh di 225 mm. Pada percobaan ketujuh nilai error steady state 0%, kemudian untuk overshoot 0%, nilai *settling time* sebesar 160 s, dan untuk nilai *rise time* sebesar 47.930 s.



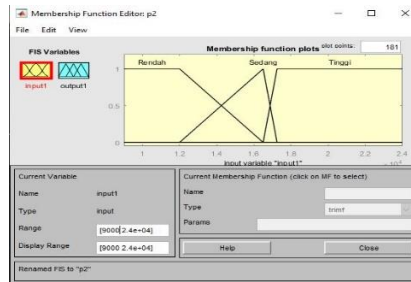
Gambar 11. Fuzzifikasi *input* pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 ke 7

Pada Gambar 11 merupakan fuzzifikasi *input* yang digunakan untuk pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 ketujuh, di mana range yang digunakan pada *input* 8000 sampai dengan 23.000. Dilihat pada Gambar 10 bentuk responnya bagus dengan stabil karena di set point yaitu 5000.



Gambar 12. Pengujian kecepatan respon bukaan valve 3/4 ke 8

Gambar 12 merupakan hasil pengujian kedelapan untuk bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan naik perlahan ke posisi stabil di posisi 5000 dengan waktu 200 detik. Dilihat bentuk respon pada Gambar 12 bagus dan stabil. Untuk *level* ketinggian air pada pengujian ketujuh di 235 mm. Pada percobaan kedelapan nilai error steady state 0%, nilai *settling time* sebesar 135 s, sedangkan untuk nilai *rise time* sebesar 5,678 s, dan nilai overshoot 8,107%.

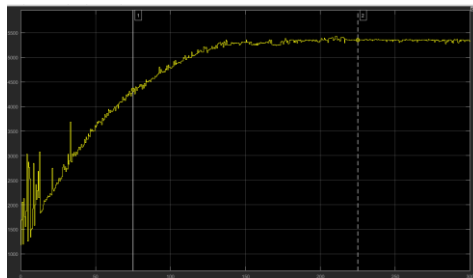


Gambar 13. Fuzzifikasi *input* pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 ke 8

Pada Gambar 13 merupakan fuzzifikasi *input* yang digunakan untuk pengujian kecepatan bukaan valve 3/4 kedelapan, di mana range yang digunakan pada *input* 9000 sampai dengan 24.000. Dilihat pada Gambar 13 bentuk responnya bagus dengan stabil dan naik turunnya bentuk grafik stabil terus di posisi 5000.

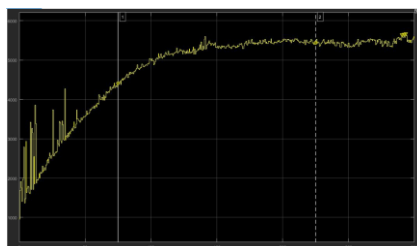
4.3 Pengujian Kecepatan Respon Menggunakan Bentuk Bukaan Valve Berbeda

Pengujian kecepatan respon dengan menggunakan bentuk bukaan valve berbeda bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon yang dihasilkan apakah berbeda-beda bentuk responnya untuk setiap bukaan valve yang diuji coba. Sistem *fuzzy* yang digunakan pada percobaan ini sama dengan pengujian kecepatan respon menggunakan bentuk *fuzzy* berbeda tetapi hanya dipilih salah satu saja, dan kecepatan menjadi 300 detik.



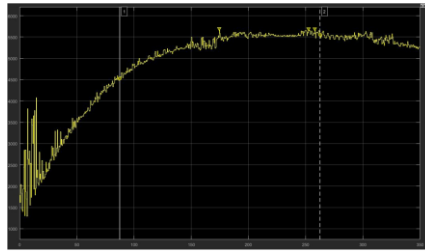
Gambar 14. Respon bukaan valve 2× pengurangan

Gambar 14 merupakan hasil pengujian respon bukaan valve 2× pengurangan. Untuk bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan naik perlahan ke posisi stabil di posisi 5000 dengan waktu 350 detik. Untuk *level* ketinggian air pada pengujian 2× pengurangan di 245 mm. Pada percobaan kedelapan nilai error steady state -2%, nilai *settling time* sebesar 110 s, sedangkan untuk nilai *rise time* sebesar 66,458s, dan nilai *overshoot* 9%.



Gambar 15. Respon bukaan valve 4× pengurangan

Gambar 15 merupakan hasil pengujian respon bukaan valve 4× pengurangan. Untuk bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan naik dengan stabil. Untuk *level* ketinggian air pada respon bukaan valve 4× pengurangan di 250 mm dengan waktu 300 detik. Pada percobaan kedelapan nilai error steady state 8%, nilai *settling time* sebesar 100 s, sedangkan untuk nilai *rise time* sebesar 75,347s, dan nilai *overshoot* 10%.



Gambar 16. Respon bukaan valve 5× pengurangan

Gambar 16 merupakan hasil pengujian respon bukaan valve 5× pengurangan. Untuk bentuk respon mula-mula di keadaan tegangan kecil kemudian akan naik dengan stabil. Untuk *level* ketinggian air pada pengujian bukaan valve 5× pengurangan di 235 mm dengan waktu 350 detik. Pada percobaan respon bukaan valve 5× pengurangan nilai error steady state 6%, nilai *settling time* sebesar 120 s, sedangkan untuk nilai *rise time* sebesar 99,201s, dan nilai *overshoot* 10%.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis pengukuran *level* ketinggian air menggunakan berbasis *fuzzy control* menggunakan Simulink Matlab, maka dapat disimpulkan bahwa performa terbaik terdapat pada pengujian respon bukaan valve 2× pengurangan dengan fuzzifikasi *range* 8000-24000 sedangkan untuk nilai performa *rise time* 66,458 s, *settling time* 110 s, *error steady state* -2%, dan *overshoot* 9%. Penggunaan sensor ultrasonic pada saat percobaan menimbulkan lonjakan nilai yang diakibatkan karena sensor ultrasonik belum mendeteksi air tetapi tidak berpengaruh signifikan pada respon *level* ketinggian. Sedangkan pengendali saat valve dibuka memiliki efek pada respon yang dihasilkan, semakin dibuka valvenya maka bentuk respon yang dihasilkan kurang bagus tetapi untuk sistem tetap stabil.

Daftar Pustaka

- [1] M. Iqbal, "Simulation of Water Level Control in a Tank Using Fuzzy Logic in Matlab.," *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, vol. 6, no. 5, pp. 21303–21306, 2017, doi: 10.18535/ijecs/v6i5.18.
- [2] B. O. Omijeh, "Simulated Design of Water Level Control System," *Comput. Eng. Intell. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 30–40, 2015.
- [3] C. Wida, "Implementasi Fuzzy Logic Controller untuk Pengendalian Level Air," *Elektran*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2012.
- [4] B. Warsito, A. Rusgiyono, and M. A. Amirillah, "Pemodelan General Regression Neural Network Untuk Prediksi Tingkat Pencemaran Udara Kota Semarang," *Media Stat.*, vol. 1, no. 1, 2012, doi: 10.14710/medstat.1.1.43-51.

- [5] J. Dabney and T. L. Harman, "Mastering SIMULINK 2," in *MATLAB curriculum series*, 1998, pp. xvii, 345 p.
- [6] I. N. Agiska, E. S. Budi, and H. K. Safitri, "Sistem Kendali PI Menggunakan PLC CP1H dan HMI pada Aplikasi Miniplant Pemanas Air," *Elkolind*, vol. 8, no. 9, 2021, doi: DOI: <http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v8i1>.
- [7] R. D. Raharjo, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONTROLER PID GAIN SCHEDULING UNTUK SISTEM PENGATURAN PROSES LEVEL PADA PROCESS CONTROL TECHNOLOGY-100," *Elkolind*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [8] A. Pudir, "PENGENDALIAN LEVEL CAIRAN TANGKI BERBASIS MATLAB, Jurnal Teknik," *Teknik Energi*, vol. 3, no. April, pp. 199–203, 2013.
- [9] J. Tarigan and M. Bukit, "Perancangan alat pendeteksi banjir mandiri berbasis sms menggunakan sensor ultrasonik dan arduino uno," *Teknik Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [10] L. Dika and S. Pradana, "Perancangan Monitoring RPM Motor Induksi Tiga Fasa pada Penggerak Generator," *Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 06, no. September, pp. 44–52, 2021.
- [11] D. Supriadi, "Rancang Bangun Sistem Pengendalian Ketinggian Air Menggunakan Sensor Ultrasonic Berbasis PLC (Programmable Logic Controller)," *TEDC*, vol. 9, no. 3, pp. 192–196, 2015.

