

RANCANG BANGUN KENDALI LEVEL AIR OTOMATIS PADA TANGKI DENGAN SERVO VALVE BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER MENGGUNAKAN ARDUINO

Dinda Arif Insantama

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : dindainsantama@mhs.unesa.ac.id

Bambang Suprianto

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas negeri Surabaya
e-mail : bambangsuprianto@unesa.ac.id

Abstrak

Pada perusahaan minuman, air merupakan kebutuhan yang vital sehingga harus ada sebuah tangki penampungan air yang dijaga volumenya dan juga tidak melebihi kapasitas tangki seperti pada proses produksi PT. Sinar Sosro, Mojokerto. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan dan mengetahui hasil pengujian sistem kontrol level air pada miniatur tangki air menggunakan kontroler *fuzzy logic* sehingga dapat memperbaiki hasil respon level air agar sesuai dengan *setpoint* yang dikehendaki. Metode kendali *fuzzy logic* dirancang dengan mengidentifikasi *plant* menggunakan karakteristik respon sistem orde pertama. Perancangan *hardware* untuk miniatur tangki air ini menggunakan Arduino Uno sebagai pusat kontrol dengan memasukkan *source fuzzy logic* dan derajat sudut untuk menjaga kestabilan level air *plant* yang terintegrasi dengan aktuator motor servo dan kran serta sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pembaca kondisi level air *plant*. Implementasi kontroler *fuzzy logic* pada sistem kontrol level air pada miniatur tangki air dengan nilai respon dinamik terbaik pada saat parameter *fuzzy logic* dengan ukuran 4 x 3 dapat memperbaiki respon sistem dengan $Ess = 4,66\%$, $t_d = 25,66\text{ s}$, $t_r(5\% - 95\%) = 109,02\text{ s}$, $t_r(10\% - 90\%) = 81,35\text{ s}$ dan $t_s(5\%) = 111,08\text{ s}$, $t_s(2\%) = 148,1\text{ s}$, $t_s(0,5\%) = 185,13\text{ s}$.

Kata kunci: Tangki Air, Level Air, *Fuzzy Logic Controller*, Arduino, Sensor Ultrasonik, Motor Servo

Abstract

In beverages company, water is a vital necessity, thus there should be a water tank which volume must be kept and also does not exceed the capacity of the tank as it is on the production process of PT. Sinar Sosro, Mojokerto. The purpose of this research is to generate and to know the test results on the water level control system of miniature water tank uses fuzzy logic controller so that it may improve the water level response results in order to keep stable water level setpoint value which is desired. Fuzzy logic control methods designed to identify a plant using a first order system response characteristics. The design of hardware for miniature water tank using Arduino Uno as the center of the controller by entering the source fuzzy logic and degree angle to keep the stability level of the water plant with integrated actuator servo motor and faucets as well as Ultrasonic sensors SR04-HC as water level conditions readers. Implementation of fuzzy logic controller in control system of water level on a miniature water tank with dynamical response best value at the time of the parameters of fuzzy logic with a 4 x 3 size can improve the response system with $Ess = 4,66\%$, $t_d = 25,66\text{ s}$, $t_r(5\% - 95\%) = 109,02\text{ s}$, $t_r(10\% - 90\%) = 81,35\text{ s}$ and $t_s(5\%) = 111,08\text{ s}$, $t_s(2\%) = 148,1\text{ s}$, $t_s(0,5\%) = 185,13\text{ s}$.

Keywords: Water Tank, Water Level, Fuzzy Logic Controller, Arduino, Ultrasonic Sensor, Servo Motor

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat telah membawa banyak pengaruh dalam berbagai aspek kehidupan terutama di bidang industri. Di dalam industri, sangat dibutuhkan sistem kendali yang baik untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Masalah yang seringkali muncul adalah tidak diketahuinya tangki penampung cairan tersebut kosong atau sudah penuh. Kalau tangki tersebut sudah penuh seringkali cairan di dalamnya meluap karena *valve* (katup) pada pipa pengisian tidak ditutup sehingga akan mengisi tangki terus-menerus (Margiantoro, dkk, 2008:26).

Dalam sebuah perusahaan yang memproduksi minuman, stok air merupakan kebutuhan yang vital maka dari itu harus ada sebuah tangki penampungan air yang

dijaga volumenya agar dapat memenuhi kebutuhan bahan baku di industri dan juga tidak melebihi kapasitas tangki seperti pada proses produksi PT. Sinar Sosro, Mojokerto yang menggunakan sistem *batch* pada prosesnya. Sistem ini mengharuskan stok air yang stabil karena pada proses ini volume air yang berada dalam tangki harus selalu penuh dan stabil pada *level* tertentu.

Dalam pengendalian level air digunakan suatu pengendali dengan jenis *fuzzy logic* yang merupakan pengendali kontinu. Untuk itu pengendali *fuzzy logic* digunakan agar dapat mengendalikan atau menjaga agar ketinggian air tersebut tetap stabil. Sedangkan dalam pengendalian dengan sistem konvensional dapat menyebabkan kekurangan persediaan air saat proses produksi dilakukan dalam jumlah besar.

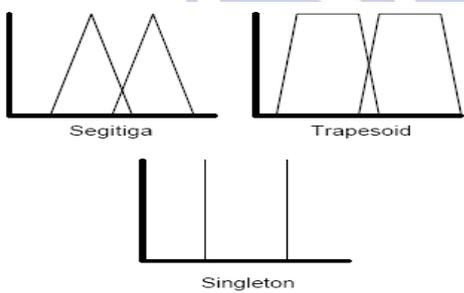
KAJIAN PUSTAKA

Fuzzy Logic

Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, banyak pengaplikasian dari penemuannya yang berhasil terutama bidang kontrol. Dalam kontrol *Fuzzy*, hasil pengukuran atau *output* proses diproduksi oleh komponen teknik (sensor). Di samping itu, kontroler *output* digunakan untuk mengontrol aktuatornya. Artinya, kontroler *Fuzzy* membutuhkan hubungan antara *input* dan *output*-nya (Wati, 2011:3). Logika *Fuzzy* biasanya melibatkan tiga langkah, yaitu:

1. Fuzzifikasi

Langkah pertama dalam memproses logika *Fuzzy* mengandung transformasi domain yang dinamakan fuzzifikasi. Masukan *crisp* ditransformasikan kedalam masukan *Fuzzy* (Wati, 2011:66). Untuk mengubahnya, fungsi keanggotaan pertama kali harus ditentukan untuk tiap masukan. Sekali fungsi keanggotaan ditentukan, fuzzifikasi mengambil nilai masukan secara *realtime*, dan membandingkannya dengan informasi fungsi keanggotaan yang tersimpan untuk menghasilkan nilai masukan (Fadillah, dkk, 2012). Beberapa bentuk fungsi keanggotaan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk Fungsi Keanggotaan (Fadillah, dkk, 2012)

2. Rule Evaluation

Di langkah ini akan diketahui bagaimana aturan-aturan menggunakan masukan *Fuzzy* untuk menentukan aksi sistem.

3. Defuzzifikasi

Input dari defuzzifikasi adalah suatu himpunan yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *Fuzzy* tersebut (Wati, 2011:72).

Analisis Karakteristik Sistem Orde Satu

Dari model matematis sebuah sistem, orde dari suatu sistem dapat dilihat dari besar pangkat variabel *s* (dalam transformasi Laplace). Suatu sistem dikatakan ber-orde satu jika fungsi alihnya mempunyai variabel *s* dengan pangkat tertinggi satu. Bentuk fisisnya bisa berupa rangkaian listrik *RC*, sistem termal, atau sistem lainnya (Ogata, 1995). Menurut Ogata (1995) model sistem orde satu secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \tag{1}$$

Keterangan:
C(s) = Output sistem
R(s) = Input sistem
 τs = Konstanta waktu

Untuk menentukan parameter *K* (*Gain Overall*) jika sistem linier, maka hubungan *Yss* dengan *Xss* dapat dituliskan sebagai berikut (Ogata, 1995):

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \tag{2}$$

Keterangan:
Xss = Setpoint
Yss = Hasil Respon

Untuk menentukan konstanta waktu (τ) dapat dihitung melalui respon keluaran sistem ketika mencapai 63,2% dari hasil akhirnya *C*(τ) dimana $t = \tau$ dan dapat dihitung sebagai berikut.

$$C(\tau) = 0.632 \times Y_{ss} \tag{3}$$

Keterangan:
C(τ) = Keluaran Sistem ketika 63,2% dari hasil akhir.

Untuk menentukan konstanta waktu tertentu (τ^*) dengan membagi konstanta waktu hasil dari *C*(τ) dengan konstanta model yang diinginkan (Ogata, 1995).

$$\tau^* = \frac{\tau}{Km} \tag{4}$$

Keterangan:
 τ^* = Konstanta waktu tertentu
 τ = Konstanta Waktu
Km = Konstanta Percepatan model yang diinginkan

Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah *prototyping platform* sebuah paket berupa papan (*board*) elektronik (*hardware*) dan lingkungan pengembangan (*software*) yang memanfaatkan kemampuan mikrokontroler jenis tertentu. Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis Atmel seri ATmega 328. Papan Arduino Uno R3 dapat dilihat pada Gambar 2.

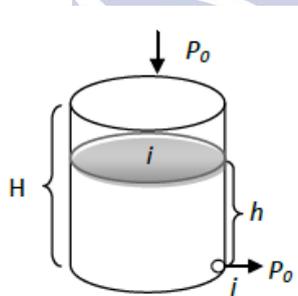


Gambar 2. Papan Arduino Uno R3 (Sumber: www.arduino.cc)

Tangki Buffer Softener

Buffer softener merupakan tempat penampungan air softener yang memiliki lubang masukan di bagian atas tangki dan lubang keluaran pada posisi bawah seperti yang di tampilkan pada gambar 3. Dalam perusahaan yang memproduksi minuman, saat proses produksi berjalan tangki ini tidak boleh benar-benar dalam keadaan kosong agar tidak mengganggu proses produksi. Dalam *plant* di perusahaan, tangki *buffer softener* memiliki volume 8000 liter. Pada tangki ini sendiri tidak terdapat pompa air sehingga volume air pada tangki sangat berperan penting untuk menjaga debit aliran air menuju lini produksi. Proses produksi minuman teh dalam kemasan membutuhkan 1500 liter air untuk pelarutan gula, 3500 liter untuk penyeduhan teh dan 3000 liter untuk *bottle wash*. Pengaliran air dari tangki *buffer softener* menuju ke lini produksi dilakukan secara seri pada satu pipa. Pada pipa sendiri terdapat beberapa *valve*. Pertama air akan mengalir untuk proses penyeduhan teh, setelah 3500 liter *valve* akan tertutup dan air akan mengalir untuk proses pelarutan gula, setelah 1500 liter *valve* akan tertutup dan selanjutnya air akan mengalir menuju ke proses *bottle wash*.

Menurut Hukum Torricelli, apabila tangki dikosongkan maka kecepatan keluar air akan berubah secara kontinu dipengaruhi oleh ketinggian air (Irmawati, dkk, 2009). Model matematika tangki dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model matematika tangki
(Sumber: Irmawati, dkk, 2009)

Keterangan :

- i : titik awal pada permukaan air,
- j : titik pada lubang.
- h : ketinggian air
- H : fungsi dari waktu.

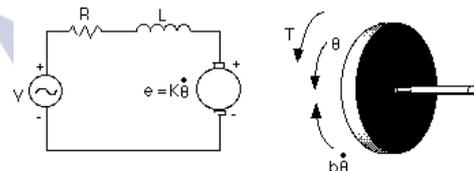
Driver Servo Control Valve

Berikut adalah spesifikasi dari *Driver Servo Control Valve* (Depoinovasi, 2017):

- Working voltage : DC 5V 3A
- Ukuran valve : 1/4"
- Bahan : Valve Metal Base dan Cover PLA
- Sistem penggerak : Servo Metal Gear
- Sinyal kontrol : Data servo
- Sistem buka tutup : Bertahap sesuai besaran sudut servo 0-90 derajat
- Sudut katup : Sudut 0 = kran full open. Sudut 90 = kran full close

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan controller dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan $0^\circ - 90^\circ$. Kontrol dilakukan dengan frekuensi 50 Hz dengan periode 20ms dan duty cycle yang berbeda (Hartono, dkk, 2017).

Pada dasarnya driver servo control valve merupakan servo dengan sudut $0^\circ - 90^\circ$ yang diintegrasikan dengan valve. Motor servo disusun dari sebuah motor DC, gearbox, variabel resistor (VR) atau potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas maksimum putaran sumbu (axis) motor servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang pada pin kontrol motor servo. Rangkaian motor DC dapat dilihat pada Gambar 4. (Hartono, dkk, 2017).

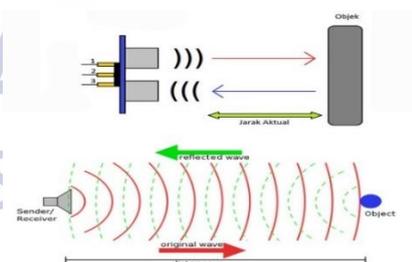


Gambar 4. Permodelan rangkaian listrik motor DC
(Sumber: Hartono, dkk, 2017)

Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah komponen yang kerjanya didasarkan prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi sebuah benda spesifik yang ada dalam frekuensinya. Memiliki ukuran frekuensi diatas dari gelombang suara, yaitu sekitar 40 KHz sampai 400 KHz (Arsada, 2017).

Dalam perancangan perangkat ini, sensor ultrasonik berfungsi untuk mendeteksi level air dalam tangki. Sensor ultrasonik di beri tiga parameter yang melambangkan setiap level dari tangki. Cara kerja sensor ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Cara kerja sensor ultrasonik
(Sumber <http://elektronikadasar.info>)

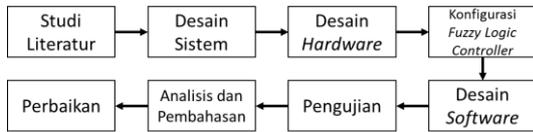
METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Tujuan Penelitian ini adalah menggunakan dan mengembangkan logika *rule base*, teori-teori atau hipotesis tentang alam. Proses pengukuran dalam metode ini berperan sentral pada penelitian kuantitatif karena hal ini memberikan hubungan yang fundamental antara

pengamatan empiris dan ekspresi matematis dari hubungan-hubungan kuantitatif.

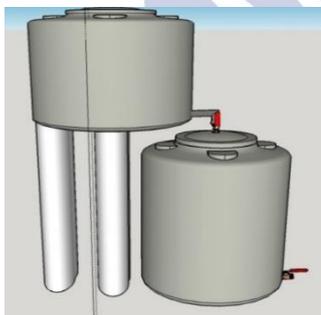
Tahapan perancangan dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.



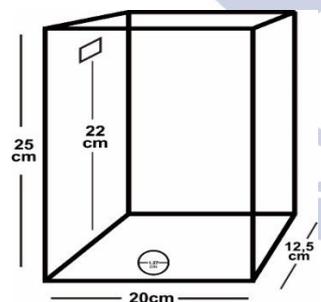
Gambar 6. Tahapan Rancangan Penelitian
(Sumber: data primer, 2018)

Perancangan Hardware

Rancang bangun *hardware* yang dimaksud adalah hubungan antar komponen, sehingga semua komponen yang digunakan dapat terhubung dan dapat beroperasi sesuai dengan desain sistem. Gambar 7 adalah rancang bangun *hardware* pada penelitian ini. Rencana tangki yang di gunakan memiliki volume sebesar 5 liter berbentuk tabung dengan diameter 16cm dan tinggi 24cm seperti pada Gambar 8. Dengan lubang di atas sebagai tempat *servo valve* sebagai input serta dua lubang output.



Gambar 7. Desain tangki dalam 3 dimensi
(Sumber: data primer, 2018)

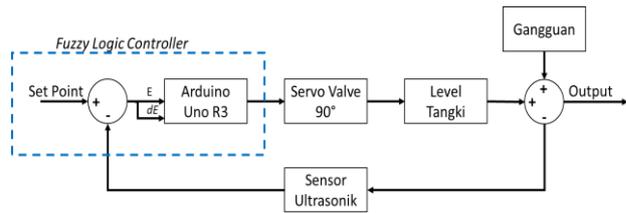


Gambar 8. Desain *hardware* tangki
(Sumber: data primer, 2018)

Perancangan Software

Software yang digunakan pada penelitian ini adalah IDE Arduino dan Matlab 2014. IDE Arduino berfungsi sebagai pusat pengendali juga berfungsi untuk mengkonversi nilai ketinggian yang di baca oleh sensor ultrasonik menjadi nilai jarak (cm). Matlab 2014 berfungsi sebagai penampil grafik yang didapatkan dari hasil uji sistem sekaligus sebagai pengolah data dan pembanding dari respon sistem tanpa kontroler dengan respon sistem

yang menggunakan kontroler. Blok diagram dari sistem dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram blok sistem
(Sumber: data primer, 2018)

Pada Gambar 10, parameter kontroler *fuzzy logic* yaitu *error* dan perubahan *error*, *rule base*, dan tingkat bukaan *valve* sudah diberikan dalam tahap desain kontroler *fuzzy logic*. Sehingga dalam penelitian ini, parameter tersebut memiliki nilai konstan selama proses berjalan. Nilai setpoint juga ditentukan oleh pengguna dengan volume antara 1-5 liter. Jarak yang dibaca oleh sensor ultrasonik akan diubah menjadi nilai tegangan yang mana nilai tersebut akan diolah oleh Arduino uno dan dikonversikan ke dalam bentuk satuan liter dan ditampilkan pada LCD 16x2. Nilai tegangan akan dikirim ke Arduino UNO dan langsung diterima IDE Arduino setelah proses ADC. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai setpoint dan didapatkan nilai *error*. Nilai *error* tersebut akan diolah oleh kontroler *fuzzy logic*. Jika $Level \approx Set Point$ maka proses selesai. Sedangkan jika level tidak sama dengan *set point*, maka proses akan berulang sampai $Level \approx Set Point$.

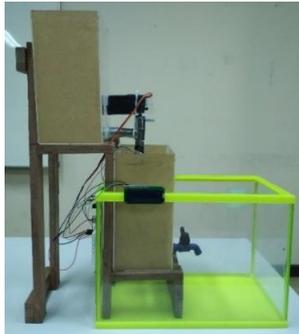


Gambar 10. Diagram alir sistem
(Sumber: data primer, 2018)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Hardware

Hasil perancangan *hardware* terdiri dari bagian mekanik dan elektrik. Pada bagian mekanik terdiri dari kran, 2 tangki air dengan ukuran panjang 20cm lebar 12,5cm dan tinggi 25cm, dan tangki besar sebagai penampung. Pada bagian elektrik adalah arduino, sensor ultrasonik, dan motor servo serta catu daya seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Perancangan *Hardware* Sistem
(Sumber: data primer, 2018)

$$G(s) = \frac{K}{\tau_s s + 1}$$

$$G(s) = \frac{0.91475}{25.022643 s + 1}$$

Keterangan:
G(s) = Fungsi alih pemodelan sistem

Validasi model dilakukan untuk mendapatkan model atau fungsi alih dari sistem yang memiliki respon dengan tingkat *error*. Fungsi alih tiap *setpoint* beserta *error* rata-rata ditunjukkan pada Tabel 2.

Kalibrasi Sensor Ultrasonik

Proses kalibrasi sensor ultrasonik dilakukan agar didapatkan nilai ketinggian air yang nantinya akan diubah menjadi nilai volume air. Alat bantu kalibrasi yang digunakan adalah meteran. Tabel kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data kalibrasi Sensor Ultrasonik

No.	Pembacaan Sensor Ultrasonik (cm)	Pembacaan meteran (cm)	Volume air (L)
1.	4,09	4	1
2.	7,9	8	2
3.	12,2	12	3
4.	16,1	16	4
5.	20,14	20	5

(sumber: data primer, 2018)

Dari data kalibrasi, nilai *error* rata-rata dari sensor sebesar 0,126 cm.

Pemodelan, Validasi Model dan Perancangan *Fuzzy Logic Controller*

Pemodelan sistem pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan karakteristik sistem orde-1 dengan parameter yang dibutuhkan adalah K dan τ . Metode pendekatan karakteristik sistem orde-1 ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan model atau fungsi alih dari suatu sistem. Fungsi alih tersebut akan digunakan sebagai perbandingan antara respon riil dengan respon simulasi. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dengan 3 *setpoint* berbeda, yaitu 1L, 3L, dan 5L. Mencari nilai K dan τ adalah sebagai berikut,

$$X_{ss} = 1 L$$

$$Y_{ss} = 0.91475$$

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{0.91475}{1} = 0.91475$$

$$C\tau = Y_{ss} \times 0,632 = 0.91475 \times 0,632 = 0.57812$$

$$\tau = 25.022643$$

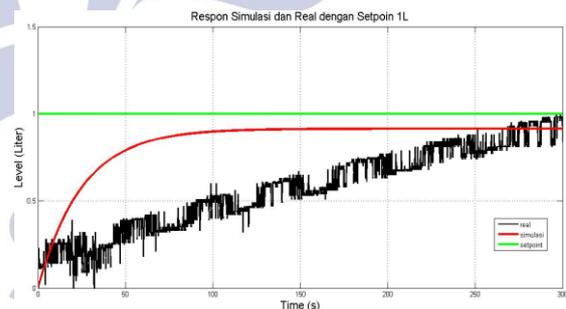
Dari parameter tersebut, didapatkan fungsi alih dengan *setpoint* 1L, yaitu:

Tabel 2 Fungsi alih dan perhitungan *error* tiap *setpoint*

No.	<i>Setpoint</i>	Fungsi Alih	Nilai rata-rata <i>Error</i>
1.	1 L	$G(s) = \frac{0.91475}{25.02264 s + 1}$	0,26
2.	3 L	$G(s) = \frac{1.00573}{77.26449 s + 1}$	0,405
3.	5 L	$G(s) = \frac{0.9635}{169.25971 s + 1}$	0,45

(sumber: data primer, 2018)

Dari data fungsi alih yang diperoleh, diketahui bahwa rata-rata nilai *error* terkecil adalah 0,26 dengan *setpoint* 1 liter. Perbandingan respon dari simulasi dengan respon sistem (riil) ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik perbandingan Respon Simulasi dan Respon Riil dengan *Setpoint* 1L
(Sumber: data primer, 2018)

Perhitungan parameter dari respon riil secara *open loop* dengan *setpoint* 1L dan nilai $\tau = 25.02264$ ditunjukkan pada Tabel 3.

1. Waktu Tunak (τ_s)
 - a. Waktu tunak (0,5%)

$$\tau_s = 5\tau$$

$$\tau_s = 5 \times 25.02264$$

$$\tau_s = 125.11321 \text{ detik}$$
 - b. Waktu tunak (2%)

$$\tau_s = 4\tau$$

- $\tau s = 4 \times 25.02264$
 $\tau s = 100.09057$ detik
 c. Waktu tunak (5%)
 $\tau s = 3\tau$
 $\tau s = 3 \times 25.02264$
 $\tau s = 75.067929$ detik
 2. Waktu naik (τr)
 a. Waktu naik (5%-95%)
 $\tau r = \tau \ln 19$
 $\tau r = 25.02264 \ln 19$
 $\tau r = 73.67764$ detik
 b. Waktu naik (10%-90%)
 $\tau r = \tau \ln 9$
 $\tau r = 25.02264 \ln 9$
 $\tau r = 54.98036$ detik
 3. Waktu tunda (τd)
 $\tau d = \tau \ln 2$
 $\tau d = 25.02264 \ln 2$
 $\tau d = 17.34437$ detik

4. Persentase Error Steady State (E_{ss})

$$E_{ss} = \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} \times 100\%$$

$$E_{ss} = \frac{0.91475 - 1}{1} \times 100\%$$

$$E_{ss} = 8.52\%$$

Tabel 3 Parameter Respon Riil dengan *Setpoint* 1L dan $\tau = 25.02264$ (*open loop*)

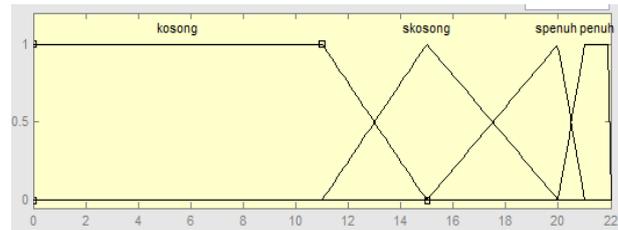
Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	125,1132 detik
Waktu tunak (2%)	100,0906 detik
Waktu tunak (5%)	75,06793 detik
Waktu naik (5%-95%)	73,67765 detik
Waktu naik (10%-90%)	54,98037 detik
Waktu tunda (τd)	17,34437 detik
Persentase Error Steady State	8,52%

(sumber: Data Primer, 2018)

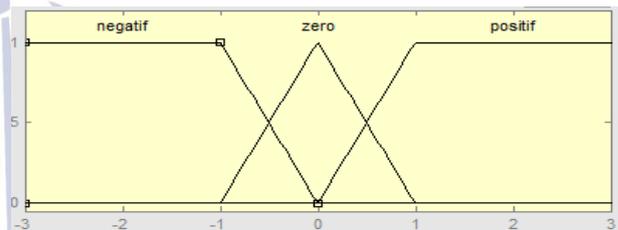
Untuk merancang *Fuzzy Logic Controller*, tidak dibutuhkan fungsi alih atau model matematika *open loop* dari *plant* yang digunakan. Model matematika *open loop* dari *plant*, hanya digunakan untuk mengetahui respon simulasi. Untuk perancangan *Fuzzy Logic Controller*, hanya dibutuhkan pengetahuan dan pengalaman peneliti. Peneliti harus mengetahui *input*, *output*, dan karakteristik *plant*.

Pada penelitian ini, *input* semesta pembicaraan berupa *error* dan *delta error* dari ketinggian air awal ke volume air masukan yang diberikan. *Error* yang terjadi, biasanya diatas atau dibawah *setpoint*. Sehingga rentang nilai semesta pembicaraan untuk *input* dimulai dari 0 cm hingga 22 cm. Himpunan *Fuzzy* yang digunakan pada variabel *input error* menggunakan 4 membership yaitu kosong, setengah kosong (*skosong*), setengah penuh (*s penuh*), dan

penuh. Sedangkan *delta error* hanya menggunakan 3 membership, yaitu negatif, nol (zero), dan positif dengan bentuk *membership function* berupa trapesium dan segitiga seperti pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Bentuk *Membership Function input error* (sumber: data primer, 2018)



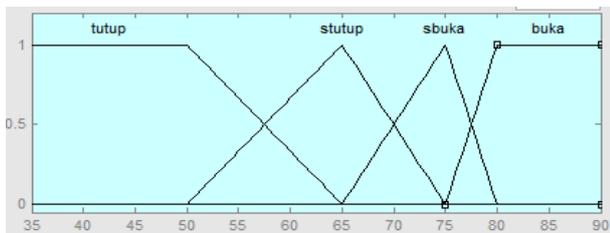
Gambar 14. Bentuk *Membership Function input delta error* (sumber: data primer, 2018)

Basis aturan logika *Fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aturan *IF-THEN* dengan metode implikasi "MIN" dan jumlah aturan yang dihasilkan sesuai dengan jumlah himpunan *Fuzzy* yang digunakan pada setiap variabel. Kemudian hasil dari setiap aturan *Fuzzy* diagregasikan menggunakan metode "MAX". Basis aturan *Fuzzy* yang direncanakan ditunjukkan pada Gambar 15.

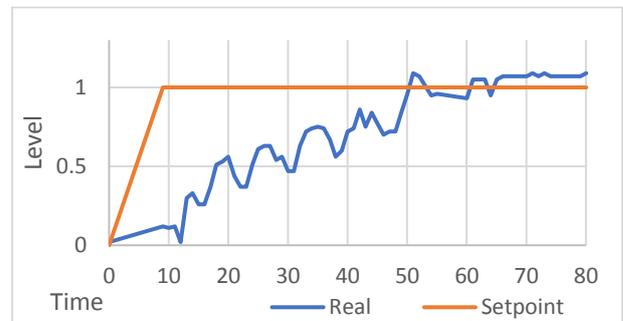
de \ e	penuh	s penuh	skosong	kosong
negatif	tutup	stutup	sbuka	buka
zero	tutup	stutup	sbuka	buka
positif	tutup	stutup	sbuka	buka

Gambar 15. Basis aturan logika *fuzzy* (sumber: data primer, 2018)

Defuzifikasi menggunakan metode *centeroid*. Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *Fuzzy*. Pada penelitian ini, *output Fuzzy* berupa sudut motor servo yang kemudian membuka kran yang akan mengisi tangki dan akan diukur kembali dengan sensor dan diubah menjadi volume air agar bisa dibandingkan dengan nilai *setpoint*. Semesta pembicaraan untuk nilai *output Fuzzy* dilebihi nilainya sebab dengan metode *centeroid* nilai *output* tidak akan kurang dari 0 L dan tidak lebih dari 5 L seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Bentuk *Membership Function* output Fuzzy (sumber: data primer, 2018)

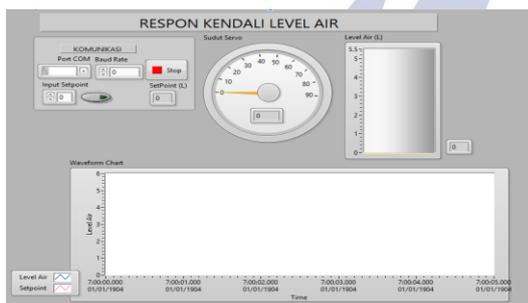


Gambar 19. Hasil respon keluaran *real plant* dengan *fuzzy* pada *setpoint* tetap 1L (sumber: data primer, 2018)

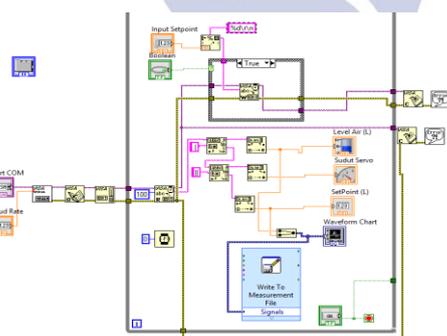
Implementasi dan Pengujian *Fuzzy Logic Controller*

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 5 kali, yaitu *setpoint* 1L, *setpoint* 3L, *setpoint* 5L, *setpoint* bervariasi dan pemberian beban.

Implementasi *Fuzzy Logic Controller* pada *real plant* dan melakukan pengujian respon sistem dengan GUI pada *labview* ditunjukkan pada Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. *Front Panel* pada *Labview* (Sumber: data primer, 2018)



Gambar 18. Blok Diagram pada *Labview* (Sumber: data primer, 2018)

Dalam pengujian pada *real plant*, dilakukan dengan 3 metode. Yaitu:

1. Pengujian dengan *Setpoint* tetap

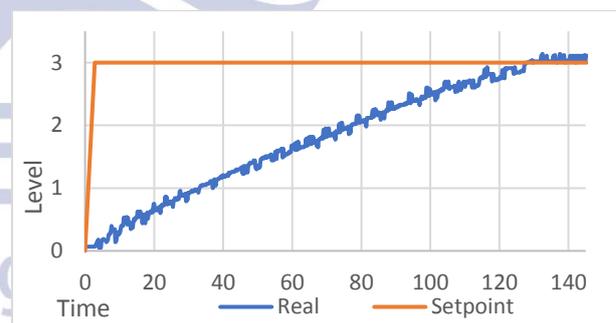
Pada pengujian ini, dilakukan pengujian pada *setpoint* 1L, 3L, dan 5L. Hasil respon *Fuzzy* pada *real plant* dengan *setpoint* 1L, 3L, dan 5L ditunjukkan pada Gambar 19, Gambar 20, dan Gambar 21.

Dari data grafik tersebut, kemudian dilakukan analisa untuk menghitung parameter percobaan dengan *setpoint* 1L. Parameter yang akan dihitung adalah τ_d (*Time Delay*), τ_r (*Rise Time*), τ_s (*Settling Time*), E_{ss} (*Error Steady State*) dengan nilai $\tau = 37.02$ detik. Parameter respon *plant* riil dengan *setpoint* 1L menggunakan *Fuzzy Logic Controller* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter Respon pada *real plant* dengan *setpoint* tetap 1L menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	185,13 detik
Waktu tunak (2%)	148,1 detik
Waktu tunak (5%)	111,08 detik
Waktu naik (5%-95%)	109,02 detik
Waktu naik (10%-90%)	81.35 detik
Waktu tunda (τ_d)	25.66 detik
Persentase <i>Error Steady State</i>	4,69%

(sumber: data primer, 2018)



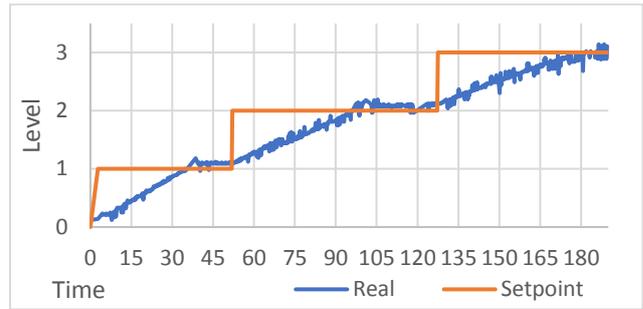
Gambar 20. Hasil respon keluaran *real plant* dengan *fuzzy* pada *setpoint* tetap 3L (sumber: data primer, 2018)

Dari grafik tersebut, dilakukan analisa untuk menghitung parameter percobaan dengan *setpoint* 3L. Parameter yang akan dihitung adalah τ_d (*Time Delay*), τ_r (*Rise Time*), τ_s (*Settling Time*), E_{ss} (*Error Steady State*) dengan nilai $\tau = 73.05$ detik. Respon *plant* riil dengan *setpoint* 3L ditunjukkan pada Tabel 5.

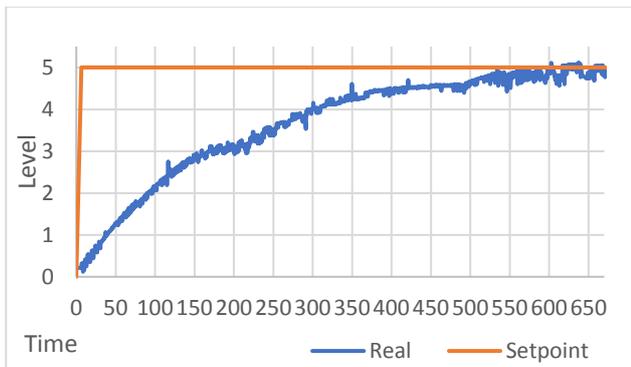
Tabel 5 Parameter Respon pada *real plant* dengan *setpoint* tetap 3L menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	365,26 detik
Waktu tunak (2%)	291,21 detik
Waktu tunak (5%)	219,15 detik
Waktu naik (5%-95%)	215,1 detik
Waktu naik (10%-90%)	160.51 detik
Waktu tunda (τ_d)	50.63 detik
Persentase Error Steady State	0,026%

(sumber: data primer, 2018)



Gambar 22. Hasil respon keluaran *real plant* dengan *fuzzy* pada *setpoint* bervariasi 1L, 2L, dan 3L (sumber: data primer, 2018)



Gambar 21. Hasil respon keluaran *real plant* dengan *fuzzy* pada *setpoint* tetap 5L (sumber: data primer, 2018)

Dari grafik tersebut, dilakukan analisa untuk menghitung parameter percobaan dengan *setpoint* 5L. Parameter yang akan dihitung adalah τ_d (*Time Delay*), τ_r (*Rise Time*), τ_s (*Settling Time*), E_{ss} (*Error Steady State*) dengan nilai $\tau = 186.63$ detik. Respon *plant* riil dengan *setpoint* 5L ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Parameter Respon pada *real plant* dengan *setpoint* tetap 5L menggunakan *Fuzzy Logic Controller*

Parameter	Nilai
Waktu tunak (0,5%)	933,15 detik
Waktu tunak (2%)	746,52 detik
Waktu tunak (5%)	559,89 detik
Waktu naik (5%-95%)	549,52 detik
Waktu naik (10%-90%)	410.07 detik
Waktu tunda (τ_d)	129.36 detik
Persentase Error Steady State	2,58%

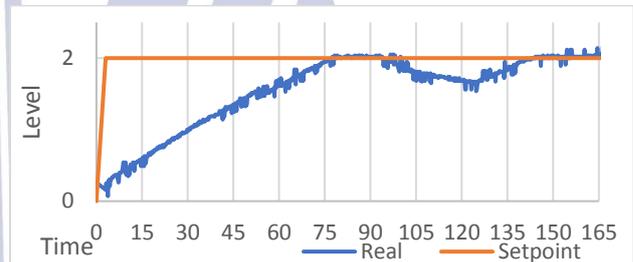
(sumber: data primer, 2018)

2. Pengujian dengan *Setpoint* bervariasi

Pada pengujian ini, dilakukan dengan memberikan *input setpoint* bervariasi yaitu 1L, 2L, dan 3L. Hasil respon *Fuzzy* dengan *setpoint* bervariasi ditunjukkan pada Gambar 22.

3. Pengujian dengan Beban/gangguan

Setelah dilakukan pengambilan data, selanjutnya dilakukan pembebanan secara riil dengan membuka kran output dari tangki selama 30 detik setelah sistem mencapai nilai *steady state* pada *set point* 2L. Hasil respon pembebanan secara riil ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Hasil respon keluaran *real plant* dengan *fuzzy* pada *setpoint* tetap 2L dengan gangguan (sumber: data primer, 2018)

Respon sistem diberikan input sebesar 2L. Pada saat gangguan aktif selama 30 detik, terjadi penurunan nilai *output* dari respon. Hal ini sejalan dengan nilai beban yang diberikan. Kemudian kontroler *fuzzy* berhasil menstabilkan kembali hasil level air.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa simulasi fungsi alih dengan *error* terkecil yaitu *setpoint* 1 liter dengan *error* rata-rata sebesar 0.26 Liter seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Dengan menggunakan *rule fuzzy logic controller* berukuran 4x3 mampu memperbaiki respon level air sehingga dapat mengikuti *sepoint* yang diinginkan, dan kemudian diterapkan untuk mengendalikan sudut motor servo, dan berhasil mencapai nilai *setpoint* dan mengurangi *ess* (*error steady state*) pada respon sitem riil menjadi 0.026% seperti yang terdapat pada Tabel 5.

Ketika diterapkan *monitoring* level air, level air dapat bekerja dengan baik dan juga dapat menampilkan informasi status tangki.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, bisa menggunakan sensor ultrasonik yang lebih akurat agar hasil pembacaan sensor jauh lebih baik.

Model atau fungsi alih yang didapatkan masih kurang baik, sehingga dapat dilakukan metode pendekatan lain dalam penelitian ini agar model atau fungsi alih lebih sesuai dengan plant dan lebih baik dari penelitian ini.

Dalam sistem ini kran *output* masih manual. Untuk selanjutnya dapat diberikan pengendalian untuk kran *output* agar lebih akurat dalam pemberian beban.

Sistem ini dapat dikembangkan pada penelitian lain dengan menggunakan metode kontrol lain seperti PID, PID-fuzzy, *model predictive control (MPC)*, dan yang lainnya untuk mendapatkan hasil respon yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsada, Bakhtiyar. 2017. *Aplikasi Sensor Ultrasonik Untuk Deteksi Posisi Jarak Pada Ruang Menggunakan Arduino Uno*. Surabaya: Jurnal Teknik Elektro. Volume 06, No. 02.
- Fadillah, Dadang, dkk. 2012. *Studi Analisa Performasi Troubleshooting Native IP Transmisi Minilink TN Pada Link Sindangrasa-rancamaya*. Jakarta: Jurnal Teknik Elektro Universitas Mercu Buana. Volume 04, No. 03.
- Hartono, Nanang Budi, dkk. *Pengaturan Posisi Motor Servo DC Dengan metode P,PI, dan PID*. Jurnal Teknik Elektronika PENS Surabaya.
- Insantama, Dinda Arif, dkk. 2017. *Rancang Bangun Sistem Pengendalian PH Nutrisi Pada Hidroponik Nutrient Film Technique Berbasis Arduino*. Surabaya: SemnasPPM Unesa
- Irmawati, dkk. 2009. *Model Matematika Waktu Pengosongan Tangki Air*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Mei 2009.
- Margiantono, Agus, dkk. 2008. *Pengendalian Tinggi Permukaan Cairan Berbasis Fuzzy*. ____: Jurnal Transformatika, Volume 6, No. 1, Juli 2008: 26–38
- Ogata, Katsuhiko. 1995. *Teknik Kontrol Automatik*. Terjemahaan Edi Laksono. Jakarta: Erlangga.
- Suprianto, Bambang, dkk. 2008. *Uniform current distribution control using fuzzy logic for parallel connected non identic DC-DC converters*. Surabaya: Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC)
- Wati, Dwi Ana Ratna. 2011. *Sistem Kontrol Cerdas*. Yogyakarta: Graha Ilmu.