

RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL KETINGGIAN AIR BENDUNGAN BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER

Satria Bagaskara Sudaryoto

S 1 Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universitas Negeri Surabaya
email : satriasudaryoto@mhs.unesa.ac.id

M Syariffudien Zuhrie, S.Pd., M.T

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
email: zuhrie@unesa.ac.id

Abstrak

Bendungan merupakan bangunan yang dibuat oleh manusia, guna menampung air sehingga terjadi genangan yang kemudian air tersebut akan digunakan untuk berbagai macam tujuan. Manfaat bendungan sangat banyak, seperti penyediaan air untuk irigasi dan untuk pengendalian banjir, irigasi, air baku atau air minum dan juga untuk pembangkit listrik serta pengembangan lokasi kawasan wisata. Sedemikian besar manfaat dari bendungan, jika dalam pengelolaan pengairan terjadi keteledoran, maka akan menimbulkan permasalahan yang besar bahkan bencana seperti yang sering terjadi saat ini yaitu banjir. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan dan mengetahui hasil pengujian sistem kontrol ketinggian air pada bendungan menggunakan *fuzzy logic controller* sehingga dapat memperbaiki hasil respon ketinggian air pada *plant* miniatur bendungan agar tetap stabil sesuai nilai ketinggian air *setpoint* yang dikehendaki. Respon hasil pengujian saat menggunakan *Fuzzy Logic Control*, ketinggian air lebih mendekati masing – masing set point yang diberikan yaitu saat set point 10 cm ketinggian air 10,26 cm. Saat set point 12 cm, ketinggian air 12,34 cm. Saat set point 14 cm, ketinggian air nya 14,43 cm.

Kata Kunci : Pintu Air Bendungan, Kontrol Level Air, *Fuzzy Logic Controller*, Arduino, Sensor Ultrasonik, Motor DC

Abstract

Dams are buildings made by human, in order to hold water so that inundation occurs then the water will be used for various purposes. The benefits of dams are very large, such as water supply for irrigation and for flood control, irrigation, raw water or drinking water and also for electricity generation and the development of tourist area locations. So much benefits from the dam, if in management of irrigation there is negligence, it will cause big problems and even disasters such as those that often occur today, namely flooding. can improve the results of the water level response in the miniature dam plant to remain stable according to the desired setpoint water level. Response to the test results when using Fuzzy Logic Control, the water level is closer to each set point, which is when the set point is 10 cm water level 10,26 cm. When the set point is 12 cm, the water level is 12,34. When the set point is 14 cm, the water level is 14,43 cm.

Keywords : Dam Sluice, Water Level Control, *Fuzzy Logic Controller*, Arduino, Ultrasonic Sensor, DC Motor.

PENDAHULUAN

Bendungan merupakan bangunan yang dibuat oleh manusia, guna menampung air sehingga terjadi genangan yang kemudian air tersebut akan digunakan untuk berbagai macam tujuan. Bangunan untuk membendung air tersebut dapat terbuat oleh material pasangan batu, beton serta pasir serta semen. Di Indonesia terdapat 495 bendungan. Manfaat bendungan sangat banyak, seperti penyediaan air untuk irigasi dan untuk pengendalian banjir, irigasi, air baku atau air minum dan juga untuk

pembangkit listrik serta pengembangan lokasi kawasan wisata (Alfatah, 2016). Sedemikian besar manfaat dari bendungan, jika dalam pengelolaan pengairan terjadi keteledoran, maka akan menimbulkan permasalahan yang besar bahkan bencana seperti yang sering terjadi saat ini yaitu banjir.

Saat ini, banjir menjadi ancaman serius di sebagian tempat dataran rendah di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh beberapa kasus. Meningkatnya populasi manusia, semakin berkurangnya daerah serapan air akibat dari banyaknya proyek pembangunan yang kurang memperhatikan lahan hijau. Dan kurangnya kesadaran

dari masyarakat mengenai pentingnya menjaga aliran air baik itu di wilayah sungai ataupun bendungan atau waduk, banyak masyarakat yang masih membuang sampah secara sembarangan sehingga menyebabkan penyumbatan sungai yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya banjir pada wilayah tersebut.

Dengan adanya masalah-masalah diatas, perlu adanya suatu sistem yang dapat mengatur ketinggian air sungai atau bendungan agar tetap stabil. Sistem ini sangat diperlukan dalam menghadapi curah hujan yang tidak menentu di masing-masing wilayah. Selama ini dalam pengaturan buka tutup pintu air bendungan dan sungai masih secara manual dan masih memerlukan banyak pertimbangan sebelum dapat melaksanakan sistem tersebut. Contohnya saat hujan datang tiba-tiba pintu air di sungai pasti akan telat untuk memperbesar jalan airnya karena cuaca yang menjadi kendala manusia. Oleh sebab itu, dalam menyikapi permasalahan tersebut penulis akan memberikan solusi berupa kontrol buka tutup pintu air bendungan dan sungai secara otomatis dengan mempertimbangkan beberapa aspek yang akan di atur agar sistem dapat bekerja dengan maksimal. Diharapkan dengan sistem ini nantinya dapat lebih meminimalisir peluang terjadinya karena ketinggian air akan tetap stabil bagaimanapun kondisi cuaca yang terjadi.

Berdasarkan latar belakang di atas, diperlukan penelitian untuk menghasilkan suatu pintu air bendungan yang dapat mengatur ketinggian air secara otomatis dengan biaya yang tidak setinggi plant yang sesungguhnya. Saya membuat penelitian dengan judul "Rancang Bangun Sistem Kontrol Ketinggian Air Bendungan Berbasis *Fuzzy Logic Controller*". Dengan metode kontrol *Fuzzy* maka untuk menentukan masing-masing parameter dilakukan proses identifikasi *plant* untuk mendapatkan *rule evaluation* yang digunakan sebagai pedoman dalam pengaturan ketinggian air. Sistem kontrol *Fuzzy* yang diaplikasikan sebagai masukan di dalam sistem yang menggunakan Arduino sebagai piranti data akuisisi untuk membaca sensor ketinggian dan mengendalikan motor DC sebagai penggerak pintu air bendungan. Data *sample* pengontrolan ketinggian air dapat diambil dari tampilan langsung ke komputer/LCD dengan *software* Arduino yang dapat menerima dan menampilkan data ketinggian air berupa angka dan kemudian diolah menjadi grafik menggunakan microsoft excel.

KAJIAN PUSTAKA

Fuzzy Logic Controller Metode Mamdani

Metode Mamdani sering dikenal sebagai metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim

Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output*, diperlukan 4 tahapan :

1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Pada metode Mamdani, baik variable *input* maupun variable *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min.

3. Komposisi Aturan

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar-aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *Fuzzy*, yaitu: *max*, *additive*, dan probabilistic OR (probor).

4. Penegasan (*defuzzy*)

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *Fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *Fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *Fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *Fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output* seperti terlihat pada gambar dibawah ini. (Kusumadewi,2010)

Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor HC-SR04 adalah sensor pengukur jarak berbasis gelombang ultrasonik. Prinsip kerja sensor ini mirip dengan radar ultrasonik. Gelombang ultrasonik di pancarkan kemudian di terima balik oleh *receiver* ultrasonik. Jarak antara waktu pancar dan waktu terima adalah representasi dari jarak objek. Sensor ini cocok untuk aplikasi elektronik yang memerlukan deteksi jarak termasuk untuk sensor pada robot.

Tabel 1. Spesifikasi sensor Ultrasonik (sumber : Panich , 2010)

Jangkauan deteksi:	2cm sampai kisaran 400 -500cm
Sudut Deteksi	15 derajat
Resolusi	1 cm
Frekuensi Ultrasonik	40 KHz
Penggunaan	Dapat dihubungkan langsung ke kaki microcontroller
Tegangan Kerja	5 V DC

Pada sensor ultrasonik, gelombang ultrasonik dibangkitkan melalui sebuah alat yang disebut dengan *piezoelektrik* dengan frekuensi tertentu. *Piezoelektrik* ini

akan menghasilkan gelombang ultrasonik (umumnya berfrekuensi 40kHz) ketika sebuah osilator diterapkan pada benda tersebut.

Secara umum, alat ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu area atau suatu target. Setelah gelombang menyentuh permukaan target, maka target akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target akan ditangkap oleh sensor, kemudian sensor menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima.

Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (serial port hardware). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset (Ecadio, 2018).

Tabel 2. Spesifikasi Arduino Mega 2560
(Sumber : Ecadio, 2018)

Chip mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7V - 12V
Digital I/O pin	54 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	101.5 mm x 53.4 mm
Berat	37 g
Tegangan input (limit, via jack DC)	6V - 20V

Motor DC

Motor DC atau sering disebut juga dengan Motor listrik arus searah adalah suatu perangkat yang dapat mengubah energi listrik searah (*Direct Current/DC*) menjadi energi kinetik. Seperti namanya, Motor DC membutuhkan arus listrik searah atau arus DC pada kumparan medan untuk dikonversikan menjadi energi kinetik. Kumparan Medan (*Field Winding*) ini adalah kumparan atau gulungan/lilitan yang terdapat pada bagian yang tidak bergerak pada Motor DC dan biasanya disebut dengan Stator, sedangkan bagian yang bergerak pada Motor DC disebut dengan Rotor.

Keuntungan utama motor DC adalah dalam hal pengendalian kecepatan motor DC tersebut, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur :

- a) Tegangan kumparan motor DC – meningkatkan tegangan kumparan motor DC akan meningkatkan kecepatan
- b) Arus medan – menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

LCD 16X2

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai bidang misalnya alat-alat elektronik seperti televisi, kalkulator, atau pun layar komputer. Pada postingan aplikasi LCD yang digunakan ialah LCD dot matrik dengan jumlah karakter 2 x 16. LCD sangat berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan status kerja alat. (Blocher, 2004)

Driver Motor DC L298N

Driver motor L298N merupakan driver motor yang paling populer digunakan untuk mengontrol kecepatan dan arah pergerakan motor terutama pada robot line foller / line tracer. Kelebihan dari driver motor L298N ini adalah cukup presisi dalam mengontrol motor. Selain itu, kelebihan driver motor L298N adalah mudah untuk dikontrol. Pada prinsipnya rangkaian driver motor L298N ini dapat mengatur tegangan dan arus sehingga kecepatan dan arah motor dapat diatur. Kelebihan akan modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisian dalam mengontrol motor sehingga motor lebih mudah untuk dikontrol. (Krause, 2002)

METODE PENELITIAN

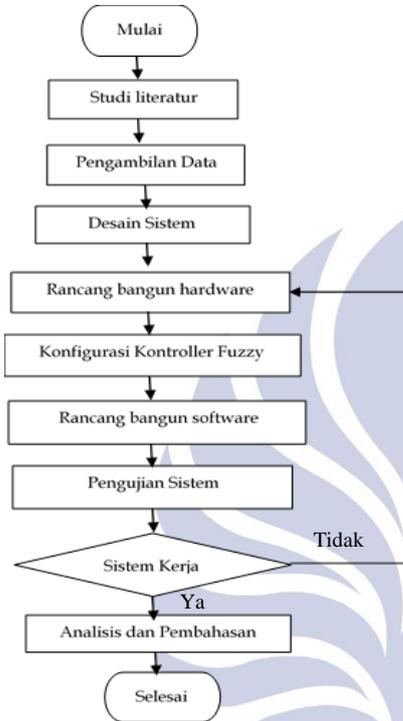
Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen adalah alat bantu yang digunakan untuk mempermudah pengumpulan data penelitian yang dilakukan secara sistematis. Instrumen pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa

komputer (PC) atau laptop dan perangkat lunak (*software*) Arduino IDE versi 1.6.2 yang digunakan untuk menganalisis data keluaran sensor. Pengumpulan data kuantitatif diperoleh dari serial monitor *software* Arduino IDE versi 1.6.12.

Prosedur Penelitian

Flowchart penelitian ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian (Sumber : Data Primer, 2018)

Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pembelajaran referensi dan literatur yang dibutuhkan dalam penelitian. Referensi didapat melalui buku, jurnal, dan *website*.

Desain Sistem

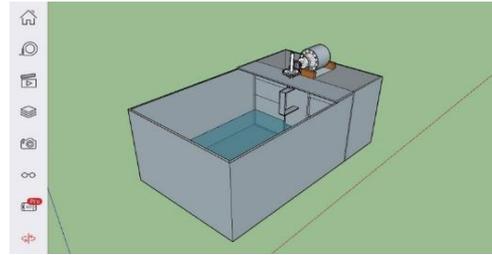
Pada tahap ini dibuat desain bagaimana sistem akan beroperasi, mulai dari desain pintu air bendungan hingga desain *software*.

Pengumpulan Bahan

Semua kebutuhan yang didapat pada tahap “Studi Literatur” dikumpulkan di tahap ini. Pembelian komponen dan peralatan yang dibutuhkan dilakukan setelah sistem selesai didesain.

Perancangan Hardware

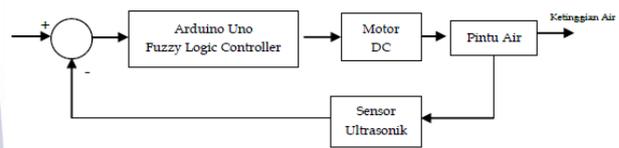
Berikut adalah gambar desain inkubator dan skema komponen yang digunakan :



Gambar 2. Desain pintu Air Bendungan (Sumber : Data Primer, 2018)

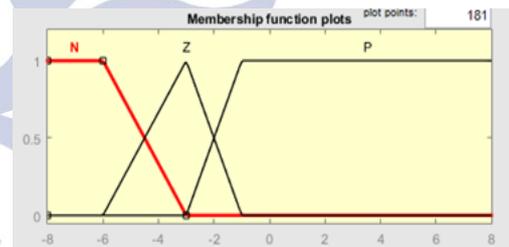
Perancangan Sistem Kendali

Controller Fuzzy dirancang menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani. Diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

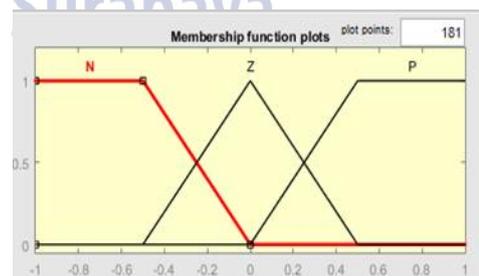


Gambar 3. Diagram Blok Sistem *Close Loop* (Sumber : Data Primer, 2018)

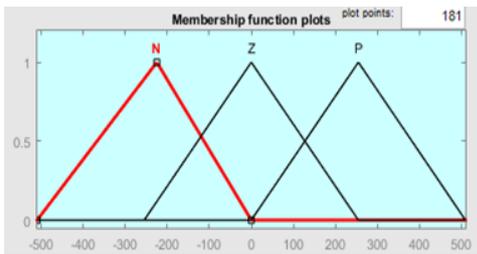
Himpunan *Fuzzy* ketinggian air dibuat sebanyak 3 *membership function*, sedangkan himpunan *Fuzzy output* dibuat sebanyak 3 *membership function*. Berikut adalah gambar untuk setiap himpunan :



Gambar 4. Bentuk *Membership Function* input error (Sumber : Data Primer, 2018)



Gambar 5. Bentuk *Membership Function* input delta error (Sumber : Data Primer, 2018)



Gambar 6. Bentuk *Membership Function output Fuzzy*
(Sumber : Data Primer, 2018)

Aplikasi peraturan yang digunakan adalah :

Tabel 3. Pengaturan *Output Fuzzy*

(Sumber : Data Primer, 2018)

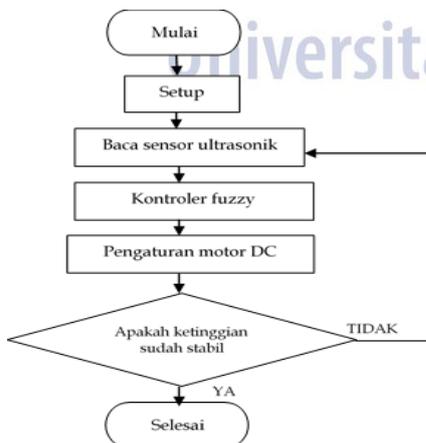
De/e	deN	deZ	deP
eN	N	N	Z
eZ	N	Z	P
eP	Z	P	P

Keterangan :

de : Delta Error Z : Diam
e : Error P : Positif
N : Negatif

Perancangan Software

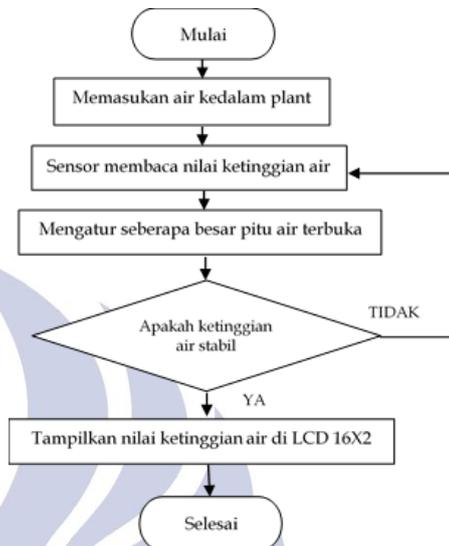
Secara garis besar jalannya program adalah membaca nilai ketinggian air sebagai set point dan *feedback* dari sensor kemudian menentukan kecepatan putar pada motor dc. *Fuzzy logic controller* digunakan untuk mengontrol posisi gerak motor dc berdasarkan nilai pembacaan dari sensor ultrasonic yang kemudian data akan diolah oleh arduino dan akan di teruskan menuju motor dc untuk membuka atau menutup pintu air. Pemrograman dari Arduino akan mencakup deklarasi sensor, kendali Fuzzy, kendali untuk motor dc. Berikut adalah *flowchart* dari program yang akan dibuat :



Gambar 7. *Flowchart Program*
(Sumber : Data Primer, 2018)

Pengujian Sistem

Setelah program di simulasikan dengan *software* Arduino UNO, maka program siap untuk melakukan pengujian terhadap ketinggian air bendungan. Adapun diagram alir pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan seperti ditunjukkan pas Gambar dibawah ini.



Gambar 8. *Flowchart pengujian*
(Sumber : Data Primer, 2018)

Analisis dan Perbaikan Sistem

Setelah melalui beberapa tahapan, baik hardware, software, dan melakukan pengujian, maka untuk mengetahui apakah Ketinggian air bisa diatur seperti parameter yang diberikan dilakukan analisis data dari keluaran sensor melalui serial monitor pada software Arduino Uno.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem pada skripsi ini dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan karakteristik sistem orde-2. Metode pendekatan karakteristik sistem orde-2 ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan model atau fungsi alih dari suatu sistem. Pada skripsi ini dilakukan pemodelan dengan *setpoint* yaitu 10 cm.

Dengan menggunakan pendekatan orde dua dan mengasumsikan suhu awal adalah nol, dapat diketahui parameter sebagai berikut :

$$1. \omega_d = \frac{\pi}{t_p} \quad (1)$$

$$2. M_p = \frac{c(t_p) - c(ss)}{c(ss)} \quad (2)$$

$$3. \zeta = \frac{\ln M_p^2}{\sqrt{\ln M_p^2 + \pi^2}} \quad (3)$$

$$4. \omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (4)$$

$$5. \sigma = \zeta \times \omega_n \quad (5)$$

$$6. t_r = \frac{1}{\omega_d} \tan^{-1} \frac{\omega_d}{\sigma} \quad (6)$$

$$7. c(t_d) = \frac{c(t_r)}{2} \quad (7)$$

$$8. t_s(2\%) = \frac{4}{\sigma} \quad (8)$$

$$9. t_s(5\%) = \frac{3}{\sigma} \quad (9)$$

$$10. E_{SS} = \frac{Y_{SS} - X_{SS}}{X_{SS}} \quad (10)$$

$$\omega_d = 0,055 \quad t_r = 23,718 \text{ s}$$

$$M_p = 0,409 \quad c(t_d) = 3,9 \rightarrow t_d = 14,646 \text{ s}$$

$$\zeta = 0,273 \quad t_s(2\%) = 266,67 \text{ s}$$

$$\omega_n = 0,057 \quad t_s(5\%) = 200 \text{ s}$$

$$\sigma = 0,015 \quad E_{SS} = 14,7\%$$

2. *Setpoint* 12 cm

Respon pengujian dengan *setpoint* 12 cm dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

Menggunakan nilai ζ dan ω_n , maka didapatkan fungsi alih sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (11)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{0,003249}{s^2 + (0,031122)s + (0,003249)} \quad (12)$$

Keterangan :

t_p : Waktu saat ketinggian maksimum

$c(t_p)$: Ketinggian Maksimum

$c(ss)$: Ketinggian Saat steady state

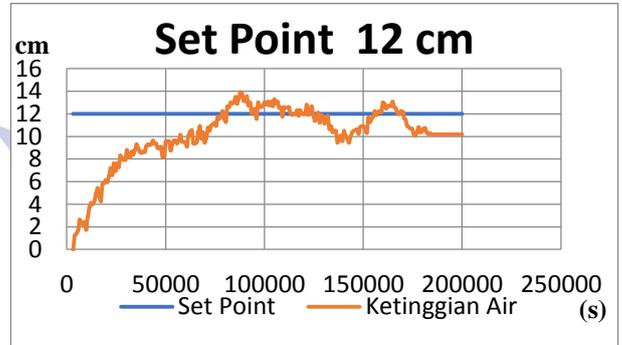
M_p : Maksimum Overshoot

t_r : Waktu Naik

t_d : Waktu Tunda

t_s : Waktu Tunak

E_{SS} : Error Steady State



Gambar 10 Grafik Respon *Setpoint* 12 cm (Sumber : Data Primer, 2018)

Pengujian Respon Sistem Tanpa Kontroller

Pengujian sistem dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu *setpoint* 10 cm, *setpoint* 12 cm, *setpoint* 14 cm.

1. *Setpoint* 10 cm

Respon pengujian sistem dengan *set point* 10 cm dapat dilihat dalam Gambar ini.

Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan *set point* 12 cm, sistem pertama kali mencapai nilai puncak overshoot sebesar 13,94 cm pada detik ke 87,732. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) didapatkan parameter sebagai berikut.

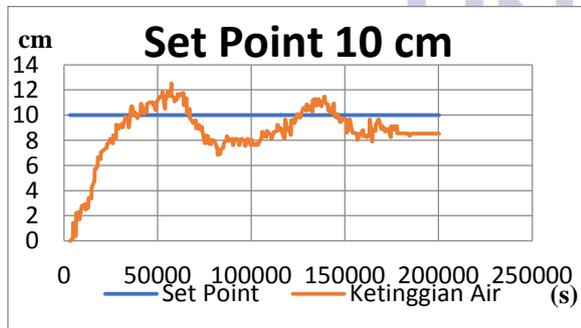
$$\omega_d = 0,0357 \quad t_r = 35,413 \text{ s}$$

$$M_p = 0,3693 \quad c(t_d) = 4,65 \rightarrow t_d = 16,33 \text{ s}$$

$$\zeta = 0,3023 \quad t_s(2\%) = 353,9 \text{ s}$$

$$\omega_n = 0,0374 \quad t_s(5\%) = 265,486 \text{ s}$$

$$\sigma = 0,0113 \quad E_{SS} = 15,167 \%$$

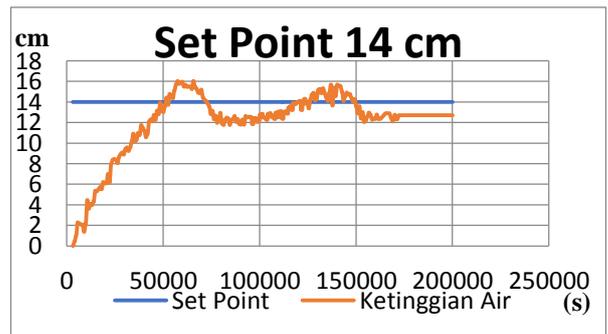


Gambar 9. Grafik Respon *Setpoint* 10 cm Tanpa *Controller* (Sumber : Data Primer, 2018)

Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan *set point* 10 cm, sistem pertama kali mencapai nilai puncak overshoot sebesar 12,02 cm pada detik ke 57,026. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) didapatkan parameter sebagai berikut.

3. *Setpoint* 14 cm

Respon pengujian dengan *setpoint* 14 cm dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 11. Grafik Respon *Setpoint* 14 cm (Sumber : Data Primer, 2018)

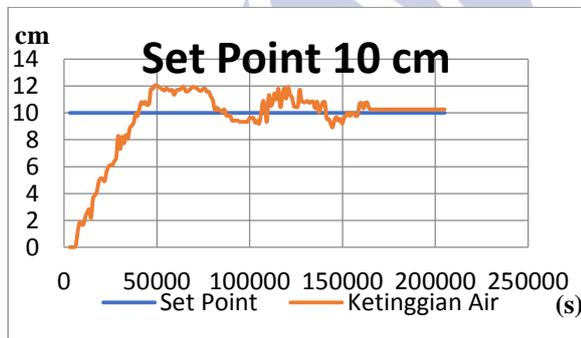
Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan set point 14 cm, sistem pertama kali mencapai nilai puncak overshoot sebesar 16,04 cm pada detik ke 57,446. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) didapatkan parameter sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \omega_d &= 0,0546 & t_r &= 20,871 \text{ s} \\ M_p &= 0,2619 & c(t_d) &= 3,16 \rightarrow t_d = 11.134 \text{ s} \\ \zeta &= 0,3924 & t_s(2\%) &= 172,413 \text{ s} \\ \omega_n &= 0,0593 & t_s(5\%) &= 129,310 \text{ s} \\ \sigma &= 0,0232 & E_{ss} &= 9,21 \% \end{aligned}$$

Pengujian Respon Sistem Menggunakan Fuzzy Logic Controller

1. Setpoint 10 cm

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian pada setpoint 10 cm. Hasil respon Fuzzy pada real plant dengan setpoint 10 cm ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 12. Hasil respon keluaran real plant dengan fuzzy pada setpoint tetap 10 cm (sumber: Data Primer, 2018)

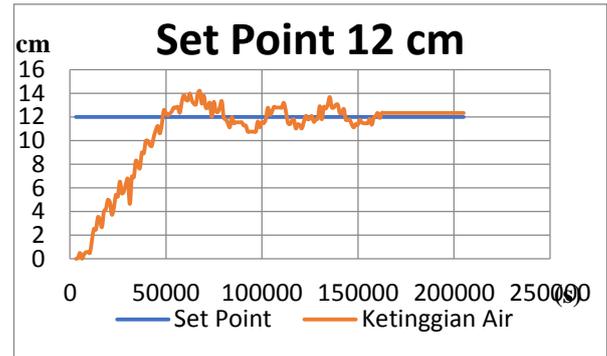
Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan set point 10 cm, sistem pertama kali mencapai nilai puncak overshoot sebesar 12,04 cm pada detik ke 48,872. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) didapatkan parameter sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \omega_d &= 0,0642 & t_r &= 16,543 \text{ s} \\ M_p &= 0,1734 & c(t_d) &= 1,9 \rightarrow t_d = 10,954 \text{ s} \\ \zeta &= 0,4872 & t_s(2\%) &= 111,731 \text{ s} \\ \omega_n &= 0,0735 & t_s(5\%) &= 83,798 \text{ s} \\ \sigma &= 0,0358 & E_{ss} &= 2,6 \% \end{aligned}$$

2. Setpoint 12 cm

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian pada setpoint 12 cm. Hasil respon Fuzzy pada real plant

dengan setpoint 12 cm ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



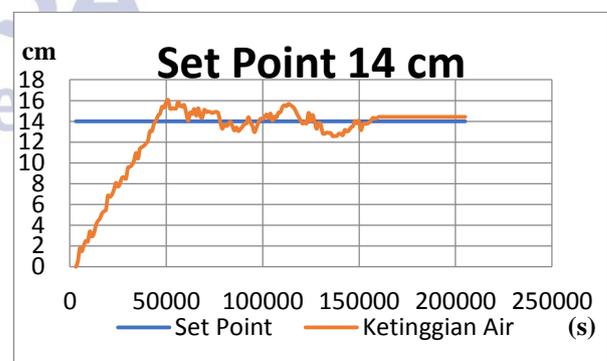
Gambar 13. Hasil respon keluaran real plant dengan fuzzy pada setpoint tetap 12 cm (sumber: Data Primer, 2018)

Dari Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan set point 12 cm, sistem pertama kali mencapai nilai puncak overshoot sebesar 14,2 cm pada detik ke 67,620. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10) didapatkan parameter sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \omega_d &= 0,0464 & t_r &= 18,387 \text{ s} \\ M_p &= 0,0644 & c(t_d) &= 2,09 \rightarrow t_d = 11,872 \text{ s} \\ \zeta &= 0,6578 & t_s(2\%) &= 98,765 \text{ s} \\ \omega_n &= 0,0616 & t_s(5\%) &= 83,798 \text{ s} \\ \sigma &= 0,0405 & E_{ss} &= 2,84 \% \end{aligned}$$

3. Setpoint 14 cm

Pada pengujian ini, dilakukan pengujian pada setpoint 14 cm. Hasil respon Fuzzy pada real plant dengan setpoint 14 cm ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 14. Hasil respon keluaran real plant dengan fuzzy pada setpoint tetap 14 cm (sumber: Data Primer, 2018)

Berdasarkan hasil respon sistem ketika diberikan set point 14 cm, sistem pertama kali mencapai nilai

puncak overshoot sebesar 16,06 cm pada detik ke 50,949. Dari persamaan (1), (2), (3), (4), (5), (8), (9), (10), (11), (12) didapatkan parameter sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\omega_d &= 0,0616 & t_r &= 15,66 \text{ s} \\ M_p &= 0,1129 & c(t_d) &= 2,41 \rightarrow t_d = 9,35 \text{ s} \\ \zeta &= 0,5704 & t_s(2\%) &= 93,678 \text{ s} \\ \omega_n &= 0,0749 & t_s(5\%) &= 70,257 \\ \sigma &= 0,0427 & E_{ss} &= 3 \%\end{aligned}$$

Perbandingan Hasil Pengujian Sistem

Perbandingan respon data tanpa controller dan menggunakan *Fuzzy Logic Control* dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 4. Data Respon Sistem Tanpa Controller
(Sumber : Data Primer, 2018)

Parameter	10 cm	12 cm	14 cm
Ts 2% (s)	266,67	353,9	172,413
Ts 5% (s)	200	265,48	129,310
Tr (s)	23,718	35,413	20,871
Td (s)	14,646	16,33	11,134
Yss (cm)	8,53	10,18	12,71
Ess (%)	14,7	15,167	9,21

Tabel 5. Data Respon Sistem Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*
(sumber : Data Primer, 2018)

Parameter	10 cm	12 cm	14 cm
Ts 2% (s)	111,731	98,765	93,678
Ts 5% (s)	83,798	83,798	70,257
Tr (s)	16,543	18,387	15,660
Td (s)	10,954	11,872	9,35
Yss (cm)	10,26	12,34	14,43
Ess (%)	2,6	2,84	3

Dari Tabel diatas dapat dilihat jika pada saat menggunakan *Fuzzy Logic Control*, ketinggian air lebih mendekati masing – masing set point yang diberikan yaitu saat set point 10 cm ketinggian air 10,26 cm. Saat set point 12 cm, ketinggian air 12,34 cm. Saat set point 14 cm, ketinggian air nya 14,43 cm.

Sedangan untuk *error steady state* (Ess) nya saat menggunakan *Fuzzy Logic Control* didapatkan error yang lebih kecil daripada saat tanpa menggunakan controller. Saat set point 10 cm *error steady state* nya sebesar 2,6 %. Saat set point 12 cm *error steady state* nya sebesar 2,84 %. Saat set point 14 cm *error steady state* nya sebesar 3 %.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut. Alat sistem kontrol ketinggian air bendungan berbasis *Fuzzy Logic Controller* telah berhasil didesain dan dihasilkan menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 sebagai pendeteksi ketinggian air di dalam prototype bendungan, arduino uno sebagai mikrokontroler, serta motor DC sebagai actuator penggerak pintu air bendungan.

Respon hasil pengujian sistem kontrol ketinggian air bendungan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* lebih baik daripada sistem tanpa menggunakan controller dimana saat menggunakan *Fuzzy Logic Controller*, ketinggian air lebih mendekati masing – masing set point yang diberikan yaitu saat set point 10 cm ketinggian air 10,26 cm. Saat set point 12 cm, ketinggian air 12,34 cm. Saat set point 14 cm, ketinggian air nya 14,43 cm.

Sedangan untuk *error steady state* (Ess) nya saat menggunakan *Fuzzy Logic Control* didapatkan error yang lebih kecil daripada saat tanpa menggunakan controller. Saat set point 10 cm *error steady state* nya sebesar 2,6 %. Saat set point 12 cm *error steady state* nya sebesar 2,84 %. Saat set point 14 cm *error steady state* nya sebesar 3 %.

Saran

Berdasarkan simpulan diatas ada beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan sistem agar hasil yang dihasilkan lebih maksimal yaitu sebagai berikut. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa aspek yang dapat diperbaiki dan dikembangkan agar memberikan hasil yang lebih maksimal, dapat menggunakan sensor ultrasonic yang lebih akurat agar hasil pembacaan sensor jauh lebih baik. Menggunakan metode kontrol lain agar bisa dibandingkan sehingga didapatkan hasil yang lebih baik. Saat pengisian menggunakan pompa air atau semacamnya agar dapat menghasilkan inputan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfatah, Muhammad Rosyid (2016). “Prototype Sistem Buka Tutup Otomatis Pada Pintu Air Bendungan Untuk Mengatur Ketinggian Air Berbasis Arduino”. Jurnal skripsi. Surakarta: Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Blocher, Richard, Dasar Elektronika, PENERBIT ANDI Yogyakarta, 2004.
- Krause, Paul. 2002. *Analysis Of Electric Machinery and Drive Systems (Second Edition)*. Purdue University. IEEE Press Power Engineering Series.

- Kusumadewi, Sri, dan Hari Purnomo. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Munir, Rinaldi (2015). "Pengantar Logika Fuzzy". Bahan Kuliah. Bandung : Teknik Informatika ITB
- Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik jilid 1*. Terjemahan Edi Laksono. Jakarta: Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik jilid 2*. Terjemahan Edi Laksono. Jakarta: Erlangga.
- Panich, Surachai. 2010. Comparison of Distance Measurement Between Stereo Vision and Ultrasonic Sensor. *Journal of Computer Science*, 6(10), 1108-1110.
- Sunardi dan Rara Sri Artati (2014). "Aplikasi Metode Fuzzy Sugeno untuk Sistem Informasi Ketinggian Air dan Ketinggian Pintu Air Suatu Bendungan". *Jurnal Skripsi*. Semarang : Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank Semarang.
- Tim Penyusun Buku Pedoman Penulisan Skripsi Program Sarjana Strata Satu (S-1). 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Web : Dickson. 2017. *Pengertian Motor DC dan Prinsip Kerjanya*. (Online) (<http://teknikelektronika.com/pengertian-motor-dc-prinsip-kerja-dc-motor/> diakses pada tanggal 18 Desember 2017).
- Web : Ecadio. 2018. *Mengenal Arduino Mega 2560*. (<http://ecadio.com/belajar-dan-mengenal-arduino-mega> , diakses 19 Februari 2019)

