

**KAJIAN SISTEM KENDALI PINTU AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY
PADA BENDUNG GERAK KANAL BANJIR BARAT**

KOTA SEMARANG

Laporan Penelitian untuk Tesis S-2

Program Magister Teknik Elektro



Diajukan Oleh :

ACHMAD SYAMSUDDIN

NIM : 2060200001

Kepada

PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis dengan judul:

**KAJIAN SISTEM KENDALI PINTU AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY
PADA BENDUNG GERAK KANAL BANJIR BARAT**

KOTA SEMARANG

Yang diajukan oleh

Nama : Achmad Syamsuddin

NIM : 20602000001

Telah diperiksa dan disahkan tanggal

Tanggal, 4 Maret 2024

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

(Muhammad Qomaruddin, ST., MSc., Ph.D)
NIDN:0631057101

(Arief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D)
NIDN: 0628097501



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Tesis dengan judul:

**KAJIAN SISTEM KENDALI PINTU AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA
BENDUNG GERAK KANAL BANJIR BARAT**

KOTA SEMARANG

Yang diajukan oleh


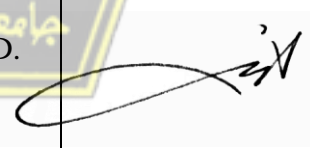

Nama : Achmad Syamsuddin

NIM : 20602000001

Telah dipertahankan didepan dewan penguji pada tanggal:

Senin, 26 Februari 2024

Menyetujui,

No	PENGUJI	TTD
1	Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D	
2	Imam Much Ibnu Subroto, ST, M.Sc., Ph.D.	
3	Prof Dr Ir Muhamad Haddin MT.	

SURAT PENYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Achmad Syamsuddin
NIM : 20602000001
Judul Tesis : **KAJIAN SISTEM KENDALI PINTU AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA BENDUNG GERAK KANAL BANJIR BARAT KOTA SEMARANG**

Dengan ini saya menyatakan bahwa judul dan isi tesis yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Magister (S2) Teknik Elektro tersebut adalah asli dan belum pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan oleh siapapun baik keseluruhan maupun sebagian, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka, dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul tesis tersebut pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 4 Maret 2023

Yang Menyatakan


Achmad Syamsuddin

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

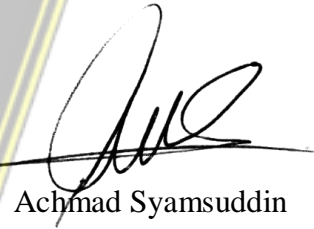
Segala puji bagi ALLOH SWT atas karuniaNYA maka penullis dapat menyelesaikan penulisan laporan penelitian dengan judul **“KAJIAN SISTEM KENDALI PINTU AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY PADA BENDUNG GERAK KANAL BANJIR BARAT KOTA SEMARANG”**.

Penyusunan tesis ini adalah merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister pada fakultas teknologi industry di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyelesaian, banyak pihak yang berjasa kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini belum sempurna, baik dari segi materi maupun penyajian, untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan dalam penyempurnaan penelitian ini.

Semarang, 4 Maret 2023

Yang Menyatakan



Achmad Syamsuddin

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
ABSTRAK.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Identifikasi Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Tinjauan Pustaka.....	8
2.2 Kajian Literatur.....	10
2.3 Landasan Teori.....	11
2.3.1 Pengertian Sungai.....	11
2.3.2 Pengertian Bendung.....	12
2.3.3 Pintu Air.....	13
2.3.4 Metode Fuzzy.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.2 Desain Penelitian.....	22
3.3 Perencanaan dan Perancangan.....	23

3.4	Model Penelitian.....	24
3.5	Flow chart Penelitian	25
3.6	Objek Penelitian Prototipe	25
3.7	Alat dan Bahan	27
3.5.1	Sensor Ultrasonik.....	27
3.5.2	Motor Servo	28
3.5.3	Arduino Uno	31
3.5.4	Water Level Sensor	32
3.5.4	Raindrop Sensor.....	33
3.5.5	Model Pintu Air Menggunakan Logika Fuzzy	34
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN	43
4.1	Analisa Fuzzifikasi	43
4.2.	Analisa Fuzzy Rule Base	51
4.3	Fuzzy Inference Engine	61
4.4	Defuzzifikasi.....	69
4.5.	Pengujian Mikrokontroler Arduino	70
4.6.	Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SRF04	71
4.7.	Pengujian Motor Servo	73
4.8.	Hasil Pengujian Water Level Sensor	75
4.9.	Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem	76
BAB V	PENUTUP	84
5.1.	Kesimpulan.....	84
5.2.	Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	86

ABSTRAK

Sungai kanal banjir barat merupakan salah satu sungai terpanjang yang digunakan sebagai sistem pengendali banjir di bagian barat kota Semarang. Pengelolaan yang dilakukan untuk meminimalisir banjir pada sungai banjir kanal barat yaitu dengan membangun bendung pintu air untuk mengatur aliran pada banjir kanal barat. Saat ini pengelolaan sungai banjir kanal barat menggunakan bendung gerak yang menerapkan sistem pelampung / karet yang diatur manual oleh sebuah pompa untuk mengembang saat kondisi pintu tertutup dan mengempis saat kondisi pintu terbuka. Masalah dan kendala yang timbul pada sistem pelampung ini adalah ketika aliran deras dan air mengalami perubahan ketinggian, tidak ada penjaga yang *standby* menyalakan pompa untuk mengempiska atau membuka pintu. Karena sistem bendung gerak dengan sistem pelampung belum dapat bekerja secara otomatis, sehingga banjir masih sering terjadi.

Penelitian sistem kendali kanal otomatis pintu air ini di pengaruhi oleh beberapa parameter antara lain: curah hujan, tinggi air dan rob yang menjadi sumber informasi sistem ini bekerja. hasil analisis tersebut, diperoleh hasil bahwa pengujian yang sudah dilakukan diperoleh waktu rata-rata pintu air mampu untuk menutup atau mengkondisikan ketinggian air secara normal yaitu selama 11,13 detik. Pengujian sistem kendali pintu air otomatis menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler dan sensor HC-SRF04 sebagai pengukur tinggi air, curah hujan dan rob serta motor servo sebagai penggerak pintu air dengan metode logika fuzzy dapat bekerja dengan baik pada desain prototipe.

Kata Kunci : Banjir, Pintu Air dan Logika Fuzzy

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai kanal banjir barat merupakan salah satu sungai terpanjang yang melintasi kota Semarang digunakan sebagai *drainase* kota dan sistem pengendali banjir dibagian barat kota Semarang. Sungai kanal banjir barat merupakan titik pertemuan dari tiga aliran sungai yaitu kali kreco, kali kripik dan kali garang sehingga pada musim hujan turun aliran dari hulu tersebut mengalir menuju hilir banjir kanal barat sedangkan kapasitas tinggi air banjir kanal barat tidak mampu untuk menampung tinggi air dari tiga sungai tersebut sehingga menyebabkan air meluap dan banjir [1]–[4].

Berdasarkan pengalaman tersebut akhirnya pemerintah mengambil langkah untuk melakukan kebijakan pengendalian banjir melalui tiga komponen yang salah satunya merupakan normalisasi banjir kanal barat dan kali garang. Normalisasi banjir kanal barat dan kali garang merupakan proyek dari pemerintah pusat untuk mengendalikan banjir [4]–[6]. Pekerjaan teknis seperti pengerukan, pelebaran dilakukan guna meningkatkan kapasitas tinggi air banjir kanal barat sehingga diharapkan mampu untuk menampung aliran dari tiga sungai diatas dan air tidak meluap ke daratan [5]–[7].

Pembenahan dilakukan di sungai kanal banjir barat sebagai penanganan banjir sekaligus juga untuk dijadikan salah satu tujuan wisata. Pembinaan dari hulu yaitu

pembangunan waduk jatibarang, normalisasi sungai hingga hilir, penataan di sekitar bendung simongan serta pembangunan saluran air dan pintu air sebagai sarana drainase perkotaan [4].

Perkembangan pengelolaan kanal banjir barat berjalan tidak optimal, sehingga sedimentasi dan penurunan fungsi kanal banjir barat tidak terhindarkan. Penurunan fungsi kanal banjir barat menyebabkan tidak optimalnya penanganan banjir, sehingga banjir yang terjadi di kota semarang masih meluas dan menyebabkan kerugian yang tidak sedikit [5]. Pengelolaan lainya yang dilakukan untuk meminimalisir banjir pada sungai banjir kanal barat yaitu dengan membangun bendung pintu air untuk mengatur aliran pada banjir kanal barat.

Saat ini pengelolaan sungai banjir kanal barat menggunakan bendung gerak yang menerapkan sistem pelampung / karet yang diatur oleh sebuah pompa untuk membuka dan menutup pintu air [8]. Bendung gerak dengan sistem pelampung sering terjadi kebocoran karena *overload* dalam menampung debit air Ketika curah hujan lebat. Selain itu, disebabkan sampah yang terbawa dari hulu sungai yang berupa limbah pabrik, rumah tangga hingga material kayu yang terbawa arus akibat banjir yang mengenai karet atau *blander* sehingga mengakibatkan kebocoran.

Masalah dan kendala yang timbul pada sistem pelampung selain yang diatas adalah ketika aliran deras dan air mengalami perubahan ketinggian, tidak ada penjaga pos pintu air yang *standby* menyalakan pompa untuk membuka pintu air. Karena sistem bendung gerak dengan sistem pelampung belum bekerja secara otomatis,

sehingga banjir masih sering terjadi [9]. Berdasarkan kondisi yang terjadi seperti diatas, diperlukan alternatif untuk mengurai permasalahan tersebut [4].

Untuk meminimalisir kasus diatas diperlukan tindakan solutif yaitu teknologi pengendalian otomatis pintu air berbasis metode logika fuzzy mamdani [10]–[12]. Teknologi tersebut digunakan untuk mengendalikan air sungai yang deras agar tidak terjadi luapan air pada kanal banjir barat. Sistem kendali ini di pengaruhi oleh beberapa parameter antara lain: curah hujan, tinggi air dan rob yang menjadi sumber informasi sistem ini bekerja. Dengan demikian, penelitian sistem kendali otomatis pintu air berbasis logika fuzzy mamdani diharapkan dapat membantu masyarakat dan pemerintah dalam upaya pengelolaan kanal banjir barat sebagai salah satu solusi pengendalian banjir di kota Semarang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latarbelakang persoalan yang telah diuraikan diatas, maka dibutuhkan sebuah studi menggunakan metode logika fuzzy mamdani untuk mengedalikan aliran air. Adapun Perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model pintu air pada bendung gerak banjir kanal barat saat ini?
2. Bagaimana model pintu air pada bandung gerak banjir kanal barat dengan sistem otomatis ?

3. Bagaimana menentukan waktu yang tepat untuk membuka dan menutup kembali pintu air sesuai kondisi yang terjadi saat itu dengan berbasis logika Fuzzy mamdani ?
4. Bagaimana cara menentukan berapa lama waktu untuk membuka dan waktu untuk menutup pintu air ?
5. Bagaimana sistem bisa mendeteksi kapan harus membuka dan kapan harus menutup kembali, apa pemicunya serta berapa batas ketinggian untuk membuka pintu air.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan permasalahan yang dihadapi tidak terlalu meluas, maka perlu dilakukan Batasan masalah. Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan sistem kendali otomatis ini dipengaruhi oleh 5 input, tetapi dalam penelitian ini digunakan 3 input, yaitu: tinggi air, curah hujan, dan air rob.
2. Penerapan penelitian sistem kendali otomatis pintu air ini masih berupa prototipe.
3. Sistem kendali otomatis menggunakan metode logika fuzzy mamdani.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dihasilkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain dan rancang sistem kendali otomatis pintu air pada kanal banjir barat berbasis logika fuzzy mamdani dalam bentuk prototipe.
2. Implementasi dan Analisa metode logika fuzzy pada sistem kendali otomatis pintu air bendung gerak kanal banjir barat kota semarang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan sistem kendali otomatis pintu air bendung gerak kanal banjir barat sehingga tinggi air yang akan meluap dapat terkendali.
2. Metode logika fuzzy dapat mengoptimalkan sistem kendali otomatis pintu air bandung gerak kanal banjir barat.
3. Membantu mengoptimalkan pengelolaan kasawan kanal banjir barat sehingga tidak terjadi luapan air yang dapat mengakibatkan banjir.

1.5 Identifikasi Masalah

Bendung gerak banjir kanal Semarang adalah salah satu struktur penting dalam manajemen banjir di kota Semarang. Beberapa masalah yang terkait dengan sistem bendung gerak di kanal banjir Semarang meliputi: kapasitas bendung yang mungkin tidak cukup besar untuk menahan tinggi air yang tinggi selama musim

hujan. Kurangnya pengaturan yang baik terkait dengan pengoperasian bendung gerak dapat menyebabkan tinggi air yang tidak terkendali. Sistem pengoperasian bendung gerak yang tidak efektif atau kurang tepat waktu dalam menyesuaikan ketinggian pintu airnya dengan tingkat air di sungai atau kanal yang terkait dapat menyebabkan banjir. Sehingga diperlukan pengoperasian yang lebih baik dan terencana secara cermat untuk menyesuaikan ketinggian pintu air dengan kondisi cuaca dan air yang mengalir.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

bab ini membahas mengenai uraian latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

bab ini membahas mengenai teori – teori secara umum tentang bendung gerak, sungai, pintu air, komponen – komponen elektronika, kontrol logika fuzzy dan matlab.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

bab ini berisi mengenai model, arsitektur, metodologi serta diagram alur penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

bab ini berisikan mengenai hasil perhitungan serta simulasi

BAB V : PENUTUP

bab ini berisi mengenai hasil perhitungan, kesimpulan dan saran penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan terdahulu yaitu kajian atau literatur terdahulu yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian, dan bertujuan untuk menentukan posisi dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh D. Danang, dkk dengan menggunakan metode logika fuzzy mamdani diterapkan pada sistem kontrol ketinggian air bendungan untuk membuka dan menutup. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui respon kontrol ketika terjadi ketinggian air bendungan. Dari hasil percobaan di dapatkan hasil, 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. Secara keseluruhan sistem mampu membaca respon ketinggian dengan baik [5].

Penelitian yang dilakukan oleh S.B. Viyata dan S. Ida yaitu dengan menggunakan metode logika fuzzy. Dalam penelitian ini sensor yang digunakan yaitu sensor ultrasonik untuk mendeteksi ketinggian air. Parameter yang diukur oleh sensor yaitu terhadap permukaan yang diuji jaraknya secara vertikal sebanyak 10x. dari hasil pengujian sensor, hasil yang dapat dicapai yaitu sensor mampu mengukur dengan jarak diatas 200 cm. hasil pembacaan diklasifikasikan dalam 5 kondisi, yaitu:

air rendah, air rendah, air agak rendah, air sedang, dan air tinggi [13]. Penelitian oleh A. Ramadhi mengimplementasikan metode logika fuzzy mamdani untuk mengatur kecepatan motor induksi tiga fasa. Pada penelitian ini menunjukkan keteria performa yang tinggi pada keadaan *overshoot* dan *steady state error* yang mana mendekati 0 nilainya. Selain itu nilai *rise time* dan *settling time relatif* cepat. Pada percobaan selanjutnya ketika mengalami pembebanan hanya membutuhkan waktu relatif cepat yaitu 0.8 detik untuk dapat kembali pada posisi *setpoint* [14].

Penelitian oleh R. Pradana and R. Irawati mengenai perancangan pompa air irigasi menggunakan metode fuzzy mamdani, dengan variabel kelembaban tanah dan intensitas cahaya. Hasilnya nilai efisiensi yang lebih baik dengan perolehan antara model otomatis dengan manual yaitu 20% banding 80%. Kemudian dari segi efektifitas yang diambil dari sisi waktu pengairan, dari 10 kali percobaan di dapat perbandingan 29% untuk model otomatis dan 71% untuk model manual, sehingga didapat bahwa secara otomatis, memiliki tingkat efektifitas yang lebih baik dibandingkan dengan model manual [15].

Penelitian oleh Raihan Muhammad al Hakim, dkk merancang pengendali pintu gerbang tol gerbang dengan RFID menggunakan logika fuzzy. *Input* yang digunakan pada penelitian ini ada 2 yaitu kepadatan dan pembayaran, kemudian *output* yang digunakan yaitu pintu tol. Kedua *input* menggunakan sensor ultrasonik dan *output* menggunakan servo. Hasil pengujian yang diperoleh dari penelitian ini yaitu rata-rata selisih durasi pembukaan pintu gerbang tol adalah 0,232 dan memperoleh rata-rata persentase *error* sebesar 4,19% [16].

Penelitian yang dilakukan oleh Novianto Henry dan Cahyono Dwi meneliti sistem pintu air otomatis menggunakan logika fuzzy dengan mikrokontroler *Raspberry Pi*. Pada penelitian ini menggunakan logika fuzzy sugeno dengan *input* ketinggian air dengan *output* pintu air. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menyebutkan tingkat *precision* sebesar 100%, *recall* 66,7% dan *accuracy* sebesar 66,7%. Sistem yang dibangun pada penelitian berhasil dan berjalan secara otomatis [17].

Penelitian ini melakukan pencarian akurasi pada sistem pintu air bendung gerak kanal banjir barat dengan menghitung hasil defuzzifikasi pada pintu air menggunakan *software* matlab. Variabel *input* yaitu curah hujan, tinggi air dan rob serta variabel *output* yaitu pintu air. Pada masing-masing variabel terdiri dari 3 nilai. Pada penelitian ini menggunakan metode fuzzy model mamdani yang akan diimplementasikan pada mikrokontroler arduino uno.

2.2 Kajian Literatur

Pengumpulan literatur atau studi pustaka adalah langkah pertama yang sangat penting dalam proses penelitian. Tahap ini melibatkan pencarian, pengenalan, dan pengambilan sumber-sumber literatur yang relevan guna mendukung penelitian yang dilakukan. Berikut adalah langkah-langkah untuk melaksanakan pengumpulan literatur dalam konteks penelitian:

- 1) Mengidentifikasi tema dan pertanyaan penelitian.

- 2) Menentukan sumber-sumber informasi yang sesuai, termasuk buku, artikel jurnal, laporan penelitian, tesis, konferensi, dan berbagai sumber lainnya.
- 3) Memanfaatkan basis data penelitian: mengakses basis data penelitian yang relevan dan perpustakaan digital yang sesuai, seperti *Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science*, dan sebagainya.

2.3 Landasan Teori

2.3.1 Pengertian Sungai

Sungai didefinisikan dengan sebagai aliran terbuka dengan ukuran geometri berubah dengan seiring waktu, tergantung pada tinggi air, tebing dan material dasar, serta jumlah dan jenis sedimen yang terangkat oleh air. Sungai akan selalu menyesuaikan dirinya dengan perubahan yang terjadi. Adapun proses yang dilakukan oleh sungai dalam menyesuaikan diri adalah sebagai berikut: pengikisan, pengangkutan, dan pengendapan. Pada kondisi tertentu sungai akan berupa pada keadaan dimana sungai tidak melakukan keseimbangan. Mulai dari mata airnya dibagian yang paling hulu di daerah pegunungan dalam perjalanannya ke hilir di daerah dataran biasanya alirannya berakhir di sebuah danau atau laut. Aliran sungai secara berangsur-angsur berpadu dengan banyak sungai lainnya, sehingga lambat laun sungai tumbuh menjadi semakin besar [16], [19].

2.3.2 Pengertian Bendung

Bendung adalah bangunan atau sesuatu yang membentang menutupi alur sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai. Bendung karet adalah bendung yang terbuat dari tabung karet yang dapat mengembang sebagai sarana pembendungan air sungai. Ada 2 jenis bendung karet berdasarkan pada media pengisi tabung karet yaitu: bendung karet isi air dan bendung karet isi udara [11].

Untuk bendung yang terpasang pada kanal banjir barat kota Semarang menggunakan tipe bendung gerak karet isi udara. Dimana bendung karet ini menggunakan udara sebagai media pengisi tabung karet. Bendung gerak kanal banjir barat kota Semarang menggunakan sistem pengapungan seperti pelampung. Pengoperasional bendung gerak karet sebagai infrastruktur pengendali banjir dalam menjalankannya peranannya harus mampu dicapai dua kondisi utama yaitu kondisi mengembang dan kondisi mengempis. Kondisi mengembang bertujuan membendung muka air hulu sehingga bisa memenuhi fungsinya sebagai pelayanan bangunan pengambilan maupun menahan intrusi air laut. Sementara kondisi mengempis bertujuan meniadakan pembendungan ketika terjadi Tinggi besar dengan elevasi muka air melampaui batas tertentu sehingga bisa menghindari peningkatan ancaman banjir akibat adanya bendung [12].

Tuas penggerak yang sering digunakan, antara lain sebagai berikut:

- 1) Sistem ember, dimana aliran ditampung dalam suatu ember yang diikat pada kotak otomatisasi. Dengan demikian besar berat ember,

posisi ember akan turun hingga memutar tuas pembuka tutup saluran udara.

- 2) Sistem pengapungan, aliran air ditampung dalam suatu bak yang di dalamnya dipasang pelampung. Pelampung diikat dengan tali yang dihubungkan dengan kotak. Jika muka air naik, pelampung ikut naik dan menggerakkan tuas pembuka tutup saluran udara.



Gambar 2.1. Bendung Gerak Karet Kanal Banjir Barat Kota Semarang [12]

2.3.3 Pintu Air

Pintu air yang biasa di bangun memotong tanggul sungai berfungsi sebagai pengatur aliran air untuk pembuangan (*drainase*), penyadap dan pengatur lalu lintas air. Di tinjau dari kontruksinya, secara garis besarnya pintu air dapat di bedakan dalam dua tipe yaitu pintu air saluran terbuka atau di sebut pintu air saluran (*gate*) dan pintu air saluran tertutup atau di sebut pintu air saluran terowongan (*sluice*). Pintu air saluran umumnya di bangun pada sistem saluran air yang besar-besar, sedangkan

pintu air trowongan untuk sistem saluran air yang relatif kecil. Walaupun demikian kadang-kadang di bangun pula pintu air terowongan yang ukurannya cukup besar pula [11] [20].

Pintu air digunakan untuk membuka, mengatur dan menutup aliran air di saluran baik yang terbuka maupun yang tertutup. Penggunaannya harus disesuaikan dengan tinggi air dan tinggi tekanan yang akan dilayaninya. Kebanyakan berbentuk empat persegi panjang, kecuali pintu cincin dan pintu silinder yang berbentuk lingkaran. Apabila saluran airnya berbentuk lingkaran atau trapesium, harus dibuat saluran peralihan yang berbentuk empat persegi panjang. Bagian yang penting dari pintu air adalah : daun pintu, rangka pengatur arah gerakan, angker dan hoist [12].

2.3.4 Metode Fuzzy

Logika fuzzy merupakan penerepan teori himpunan fuzzy pada bidang pengendalian sistem, yang pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika fuzzy merupakan pemecahan masalah ketidakpastian yang tepat, karena logika fuzzy adalah fleksibel dan memberikan toleransi terhadap ketidakpresisian data. Logika fuzzy adalah logika yang *multivalued* yang memungkinkan untuk mendefinisikan nilai menengah di antara dua logika yang berbeda, seperti benar dan salah, tinggi dan rendah, panas dan dingin, dan lain-lain. Logika fuzzy merupakan suatu metode yang berbasiskan perasaan yang mampu memberikan solusi lebih seimbang karena himpunannya memiliki derajat keanggotaan antara 0 sampai 1 [14]. Logika fuzzy adalah sebuah metode dalam

kecerdasan buatan yang menggunakan variabel kata sebagai pengganti berhitung dengan bilangan, dapat mengolah data yang bersifat tidak pasti dan termasuk dalam kategori *soft computing* [14], [21].

2.2.4.1 Fuzzy Mamdani

Metode fuzzy mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode fuzzy mamdani merupakan salah satu bagian dari *fuzzy inference system* yang berfungsi sebagai penarikan keputusan atau kesimpulan terbaik dalam permasalahan yang tidak pasti [17]. Metode fuzzy mamdani dalam prosesnya menggunakan kaedah-kaedah linguistik dan memiliki algoritma fuzzy yang dapat dianalisis secara matematika, sehingga lebih mudah dipahami [18].

Proses pengambilan keputusan dengan menggunakan metode fuzzy mamdani untuk memperoleh keputusan yang terbaik. Proses ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, yaitu pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan dan defuzzifikasi. Kelebihan metode ini lebih spesifik memperhatikan kondisi yang akan terjadi untuk setiap fuzzy, sehingga menghasilkan hasil keputusan yang lebih akurat [17]. Kelemahan metode ini hanya dapat digunakan untuk data dalam bentuk kuantitatif saja, tidak dapat dipergunakan untuk data yang berbentuk kualitatif [19].

Metode fuzzy mamdani merupakan metode dalam penarikan kesimpulan yang paling mudah dimengerti oleh manusia, karena paling sesuai dengan naluri manusia. sehingga akan menghasilkan keputusan terbaik untuk suatu permasalahan [19].

2.2.4.2 Fuzzy Sugeno

Secara umum, logika fuzzy Sugeno merupakan suatu bentuk logika yang digunakan untuk menghasilkan keputusan tunggal atau tegas ketika melakukan defuzzyfikasi. Penerapannya bergantung pada konteks masalah yang sedang dihadapi, dengan urutan proses yang dimulai dari langkah fuzzyfikasi, penerapan aturan, defuzzyfikasi, dan menghasilkan *output*.

Metode fuzzy Sugeno pertama kali diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985, dan sering disebut sebagai metode TSK (Takagi-Sugeno Kang). Logika fuzzy Sugeno memiliki bentuk persamaan dengan metode fuzzy Mamdani, perbedaannya terletak pada keluaran. Menurut Cox (1994) dalam bukunya "Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi Dua" karya Sri Kusumadewi (Halaman 46), metode TSK ini terbagi menjadi dua jenis:

a. Fuzzy Sugeno Orde-Nol

Secara umum bentuk model fuzzy ini adalah: $IF (x_1 \text{ is } A_1) \& (x_2 \text{ is } A_2) \& (x_3 \text{ is } A_3) \& \dots (x_n \text{ is } A_n) THEN z=k.$

Dengan A_1 sebagai himpunan fuzzy ke-1 sebagai enteseden, dan k adalah suatu konstanta sebagai konsekuen.

b. Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model fuzzy ini adalah: $IF (x_1 \text{ is } A_1) \& (x_2 \text{ is } A_2) \& (x_3 \text{ is } A_3) \& \dots (x_n \text{ is } A_n) THEN z=p_1*x_1 + \dots p_n*x_n+q.$

Dengan A_1 sebagai himpunan fuzzy ke- i sebagai enteseden, dan p_i adalah suatu konstan ke- i dan q_i adalah konstanta dalam konsekuen.

Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya [19].

2.2.4.3 Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

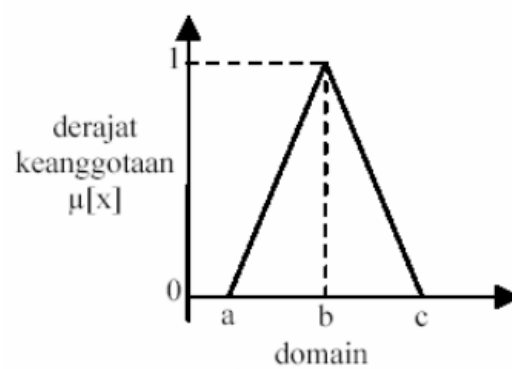
Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki nilai pada interval 0 sampai 1 [22]. Beberapa fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi ini diidentifikasi dengan tiga buah parameter dengan rumus seperti persamaan 2.1. Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan oleh Gambar 2.4.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \end{cases} \dots\dots(2.1)$$



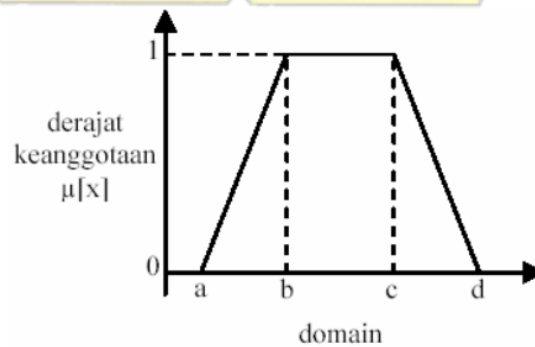
Gambar 2.4 Fungsi Keanggotaan Segitiga [23]-[24]

2. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi ini diidentifikasi dengan empat buah parameter dengan rumus seperti persamaan 2.2. Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots(2.2)$$



Gambar 2.5. Fungsi Keanggotaan Trapesium [23]-[24]

3 Aturan Dasar Fuzzy

Dasar aturan pada logika fuzzy terdiri dari empat buah komponen yang bekerja bersamaan dan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. *Rule-Base* : bersisikan sekumpulan aturan fuzzy dalam mengendalikan sistem. Aturan fuzzy pada metode ini dinyatakan dalam bentuk “*IF THEN*” yang merupakan inti dari relasi fuzzy. Aturan “*IF THEN*” disusun berdasarkan data masukan dan keluaran yang menunjukkan bagaimana suatu sistem beroperasi [21],[23],[24],[25].
2. *Fuzzification* : merupakan tahapan awal proses memetakan suatu nilai crisp dalam himpunan fuzzy. Dengan kata lain membuat suatu nilai *crisp* menjadi suatu nilai berkisar antara 0 – 1 dalam himpunan-himpunan fuzzy yang tersedia [25], [28], [29]. Proses untuk mengubah variabel non fuzzy menjadi variabel fuzzy. Proses tersebut melalui pendekatan fungsi keanggotaan. Beberapa metode *fuzzifier* antara lain : *Singleton Fuzzifier*, *Gaussian Fuzzifier*, *Triangular Fuzzifier* [11],[25].
3. *Fuzzy Inference Engine* : merupakan proses pengolahan *input* berupa nilai fuzzy yang didapat dari proses *fuzzifier* dengan mengkombinasi *rule-base* untuk mendapatkan *output* berupa nilai fuzzy yang baru [20],[22],[28],[29].
4. *Defuzzification* : yaitu proses pengolahan nilai fuzzy yang diperoleh dari proses *fuzzy inference engine* menjadi nilai tegas. Dengan kata lain, proses ini mengubah nilai fuzzy menjadi nilai crisp, dimana nilai inilah yang nantinya akan digunakan dalam implementasi dan analisis [11], [25], [33], [34].

2.2.5. Mean Squared Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) adalah rata-rata kesalahan kuadrat diantara nilai aktual dengan nilai peramalan. Secara umum metode ini digunakan untuk mengecek estiasi seberapa nilai kesalahan pada proses peramalan. Nilai MSE yang *error* atau rendah yang mendekati nol menunjukkan bahwa hasil peramalan sesuai dengan data aktual dan bisa dijadikan untuk perhitungan peramalan diperiode mendatang. Metode ini biasanya digunakan untuk mengevaluasi metode pengukuran dengan model regresi atau medel seperti peramalan seperti *moving average*, *weighted moving average* dan *analisis trendline* [35], [36].

Cara untuk menghitung MSE adalah dengan melakukan pengurangan nilai data aktual dengan data peramalan dan hasilnya dikuadratkan, kemudian hasilnya dijumlahkan secara keseluruhan dan membaginyanya dengan banyaknya data yang ada. MSE ditulis dengan persamaan sebagai berikut : (2.3).

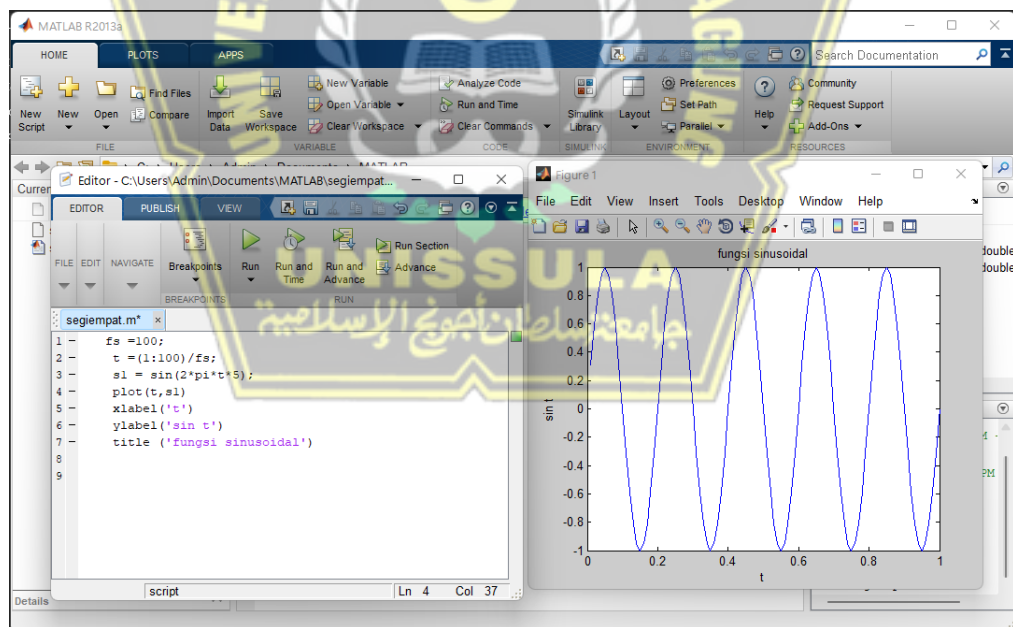
$$MSE = \sum_{t=1}^n (At - Ft)^2 / n \dots\dots\dots (2.3).$$

2.2.6. Matlab

MATLAB adalah kependekan dari *Matrix Laboratory* hal ini dikarenakan setiap data yang digunakan pada matlab merupakan dasar *matrix*. MATLAB merupakan *software* yang menggunakan bahasa pemrograman tinggi, tertutup dan mempunyai *case* yang sangat sensitif dalam lingkungan komputasi numerik yang dikembangkan oleh *MathWork*. Salah satu kelebihan yang paling populer adalah kemampuan dalam membuat grafik dengan visualisasi terbaik.

MATLAB mempunyai *tools* yang dapat membantu berbagai disiplin ilmu, sehingga banyak industri yang menggunakannya. MATLAB mempunyai banyak library yang dapat membantu menyelesaikan persoalan matematika seperti membuat pemodelan matematika, simulasi fungsi dan perencanaan *grafik user interface* [26].

MATLAB sangat familiar digunakan oleh kalangan pelajar, peneliti di universitas, peneliti institusi, teknisi- teknisi serta kalangan industri sebagai alat untuk membantu menyelesaikan komputasi matematis untuk berbagai persoalan. Berbeda dengan *software* pemrograman lainnya, MATLAB merupakan bahasa pemrograman tertutup sehingga dalam proses kompilasinya harus menggunakan *software* yang dikembangkan oleh *MathWorks*. [26].



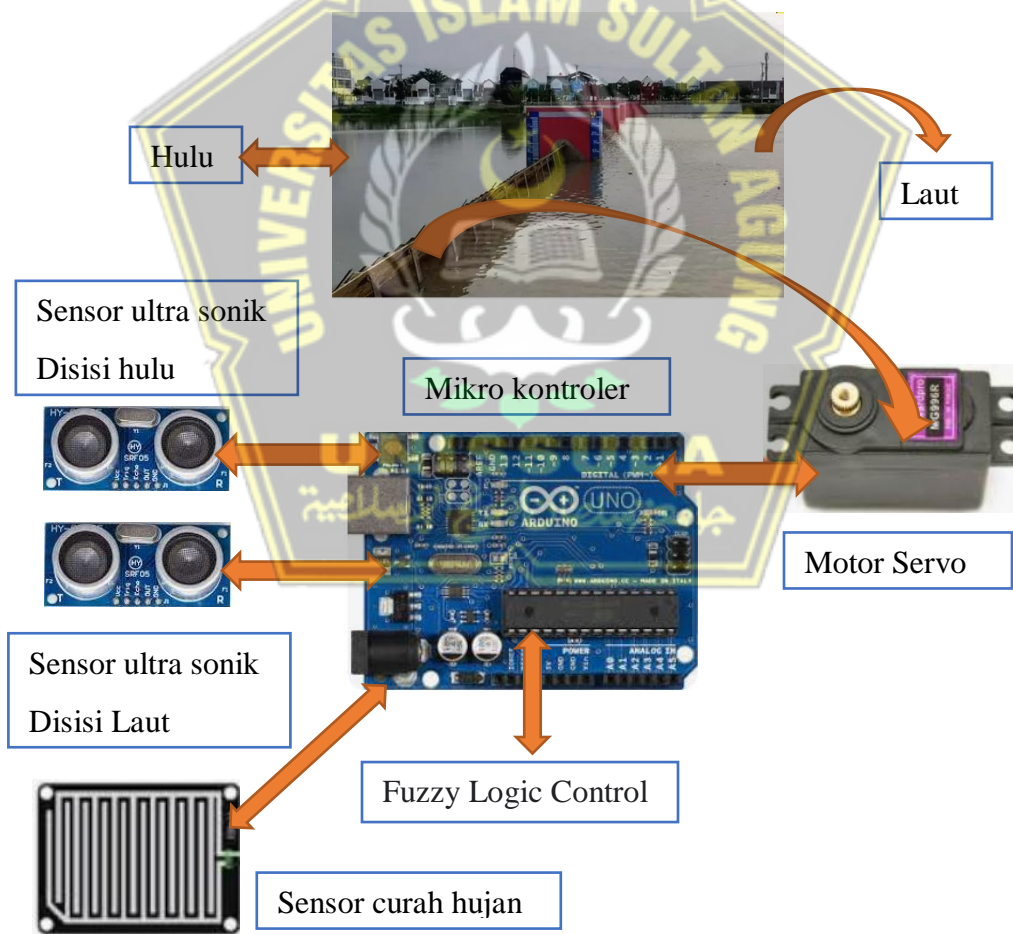
Gambar 2.6. Jendela Pada MATLAB

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.2 Desain Penelitian

Bagian ini memiliki signifikansi besar dalam penelitian ini, yang secara data menjelaskan alur penelitian yang telah dilakukan. adapun desain penelitian diuraikan dengan menggunakan sebuah diagram blok, seperti yang diperlihatkan gambar di bawah ini.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem

Cara kerja :

1. Sensor ultrasonik disisi hulu (kanal) mendeteksi ketinggian air 15 - 30 cm, pintu air membuka sedang.
2. Sensor ultrasonik disisi hulu (kanal) mendeteksi ketinggian air 5.0 – 7.5 cm dan sensor hujan mendeteksi grimis. Pintu air membuka sedang.
3. Sensor ultrasonik disisi hulu (kanal) mendeteksi ketinggian air 15 - 30 cm dan sensor hujan mendeteksi hujan deras. Pintu air membuka membuka penuh.
4. Sensor ultrasonik disisi hilir (laut) mendeteksi ketinggian air 5 - 30 cm, pintu air akan menutup.
5. Sensor ultrasonik disisi hulu (kanal) mendeteksi ketinggian air 15 – 30 cm, sensor hujan mendeteksi hujan deras. Sensor ultrasonik disisi hilir (laut) mendeteksi ketinggian air 5 - 30 cm pintu air membuka membuka penuh.

3.3 Perencanaan dan Perancangan

Pada tahap ini membuat perencanaan dan perancangan pintu air kanal banjir barat dengan membuat sebuah prototipe seperti apa yang ada dikondisi lapangan sebenarnya. Desain prototipe ini mempunyai ukuran panjang 90 cm dengan lebar 30 cm. Dari sisi hulu dibagi menjadi 2 bagian dengan asumsi bagian pertama digunakan sebagai pendeteksi curah hujan. Bagian kedua digunakan sebagai pendeteksi tinggi air. Dibagian tengah desain terdapat pintu air yang berfungsi sebagai pengendali banjir. Kemudian dibagian hilir diasumsikan sebagai pendeteksi ketinggian rob.

Peneliti melakukan analisis data yang diperoleh dari sensor SRF04 untuk mendeteksi curah hujan, tinggi air, dan rob. Logika fuzzy digunakan untuk memproses data curah hujan, tinggi air dan rob yang dihasilkan oleh sensor, sehingga kendali otomatis pintu air pada kanal banjir barat dapat bekerja dengan baik.

Logika fuzzy mamdani digunakan untuk memproses data curah hujan, ketinggian tinggi air dan rob yang diperoleh dari sensor SRF04, sehingga dapat diketahui kapan waktu tepat untuk membuka menutup pintu air yang digerakan oleh motor servo.



Gambar 3.2 diatas ini merupakan desain prototipe alat pengendali pintu air kanal banjir barat.

3.4 Model Penelitian

Penelitian ini berupaya untuk mendapatkan sistem kendali otomatis pintu air sebagai solusi untuk mengendalikan air pada aliran kanal banjir barat kota semarang. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode logika fuzzy dengan *input* variabel

pada Tabel 3.1 dibawah ini, batas operasi bendung gerak ditunjukkan pada kolom (tinggi bendung gerak). Upaya untuk mencapai pendekatan yang sama dengan kondisi yang sebenarnya, maka perbandingan standar operasi bendung gerak dengan prototipe yaitu 100:1. Prinsip dari penelitian ini adalah apabila tinggi air sungai di hilir bendungan sudah mencapai batas dan curah hujan yang turun mencapai batas dan ditambah kenaikan rob, maka pintu air akan membuka secara otomatis.

Tabel 3.1 Operasi Prototipe Kendali Pintu Air Kanal Banjir Barat

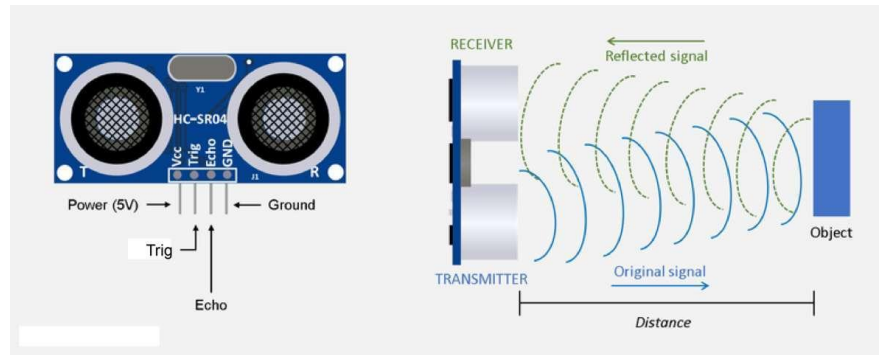
No	Status	Tinggi Air Bendung Gerak	Tinggi Air Prototipe	Aksi Pintu
1	Siaga	0.0 - 0.25 m	0.0 - 2.5 cm	Pintu Tutup
		0.25 - 50 m	2.5 - 5.0 cm	Pintu Tutup
2	Waspada	0.50 - 75 m	5.0 - 7.5 cm	Pintu Buka Sedang
		0.75 - 1.0 m	7.5 - 10 cm	Pintu Buka Sedang
		1.0 - 1.25 m	10 - 12.5 cm	Pintu Buka Sedang
3	Awat	1.25 - 1.75 m	15 - 17.5 cm	Pintu Buka Penuh
		1.75 - 2.0 m	17.5 - 20 cm	Pintu Buka Penuh
		2.0 - 2.25 m	20 - 22.5 cm	Pintu Buka Penuh
		2.25 - 2.50 m	22.5 - 25 cm	Pintu Buka Penuh
		2.50 - 2.75 m	25 - 27.5 cm	Pintu Buka Penuh
		2.75 - 30.0 m	27.5 - 30 cm	Pintu Buka Penuh

3.7 Alat dan Bahan

3.5.1 Sensor Ultrasonik

Modul sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi 20.000 Hz. Bunyi ultrasonik tidak dapat di dengar oleh telinga manusia. Jarak yang dapat dibaca sensor ultrasonik adalah 3cm sampai 3m. Sudut pancaran dari Sensor ultrasonik adalah dari 0 sampai dengan 30 derajat [23],[36],[37].

Cara kerja modul sensor ultrasonik untuk mengukur jarak adalah sinyal dipancarkan oleh pemancar ultrasonik. Sinyal yang dipancarkan akan merambat sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan 340 m/s. Ketika menumbuk suatu benda, maka sinyal tersebut akan dipantulkan oleh benda tersebut. Setelah gelombang pantulan sampai di alat penerima maka sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jarak benda tersebut. Jarak benda dihitung berdasarkan rumus: $s = 340.t/2$ Dimana s merupakan jarak antara sensor ultrasonik dengan benda dan t adalah selisih antara waktu pemancaran gelombang oleh transmitter dan waktu ketika gelombang pantul diterima receiver [23],[36],[37],[38] . Fungsi pin modul sensor ultrasonik terdapat pada Tabel 3.2 dan modul sensor ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Modul Sensor Ultrasonik dan Arah Pancaran Gelombang Ultrasonik [39]

Tabel 3.2 Fungsi Pin Modul Sensor Ultrasonik [38]

Pin	Fungsi
Trigger	Pemicu sinyal sonar dari sensor
Echo	Penangkap pantulan sinyal sonar
VCC	Sumber tegangan
Gnd	Ground

3.5.2 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat sebagai motor yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup, sehingga dapat di *setup* atau diatur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian *gear* yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan

potensi meter dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Penggunaan sistem *control close loop* pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Posisi poros *output* akan dihasilkan oleh sensor, untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang diinginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol input akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan [1], [2].

Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya. Ada dua jenis motor servo yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat, sehingga sering diaplikasikan pada mesin-mesin industri. Sedangkan motor servo DC biasanya lebih cocok untuk digunakan pada aplikasi-aplikasi yang lebih kecil. Menurut rotasinya, umumnya terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran, yaitu motor servo *rotation* 180° dan servo *rotation continuous* 360° .

- a. Motor servo standard (*servo rotation* 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros outputnya terbatas hanya 90° ke arah kanan dan 90° ke arah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180° .
- b. Motor servo *rotation continuous* 360° merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standard, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan

maupun kiri. Motor servo DC memiliki sistem umpan balik tertutup dimana posisi rotornya akan di informasikan kembali kerangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor servo [38].



Gambar 3.3 Motor Servo [11]

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan kontroler dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan $0^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 180^\circ$ atau 360° . Tiap komponen pada motor servo diatas masing-masing memiliki fungsi sebagai *controller*, *driver*, *sensor*, *gear box* dan aktuator. Motor pada sebuah motor servo adalah motor DC yang dikendalikan oleh bagian kontroler, kemudian komponen yang berfungsi sebagai sensor adalah potensiometer yang terhubung pada *system gear box* pada motor servo [11].

3.5.3 Arduino Uno

Komponen utama di dalam arduino adalah sebuah mikrokontroler 8 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh *Atmel Corporation*. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*, 6 *analog input*, *crystal osilator* 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol *reset* [33].

Arduino dapat diberikan *power* melalui koneksi USB atau *power supply*. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan *jack* adaptor pada koneksi *port input supply*. *Board* arduino dapat dioperasikan menggunakan *supply* dari luar sebesar 6 - 20 volt. Jika *supply* kurang dari 7V, kadangkala pin 5V akan menyuplai kurang dari 5volt dan board bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 V, tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada *board*. Rekomendasi tegangan ada pada 7 sampai 12 volt. Arduino sendiri memiliki IDE untuk kompiler. Proses kerja arduino ialah melakukan pemrograman pada IDE, *compile*, dan *upload binary/hex file* ke kontroler. Berbeda dengan *processing* yang kode hasil *compile* langsung dijalankan di komputer, kode hasil *compile* arduino harus di *upload* kekontroler sehingga dapat dijalankan [40].



Gambar 3.4 Modul Arduino Uno [40]

3.5.4 Water Level Sensor

Water level sensor adalah alat yang berfungsi untuk mengukur ketinggian air dengan *output* berupa sinyal *analog*, yang kemudian diolah oleh mikrokontroler. Cara kerja dari sensor ini adalah dengan membaca resistansi yang dihasilkan oleh air yang bersentuhan dengan permukaan bergerigi pada sensor. Semakin banyak air yang bersentuhan dengan permukaan bergerigi tersebut, maka resistansinya semakin rendah. Sebaliknya, ketika tidak ada air yang bersentuhan dengan permukaan sensor, resistansinya sangat tinggi, bahkan bisa dikatakan tak terhingga. Oleh karena itu, untuk mengukur ketinggian air dengan memanfaatkan fitur pembacaan sinyal analog yang terdapat pada arduino uno [41]. Berikut adalah spesifikasi dari sensor tingkat air ini:

- 1) Tegangan kerja: 3-5 VDC
- 2) Arus kerja: < 20mA
- 3) Tipe sensor: analog

- 4) Max output: 2.5v
- 5) Luas area deteksi: 16x40mm
- 6) Suhu kerja: 10-30 C
- 7) Ukuran: 20x62x8 mm



Gambar 3.5 *Water Level Sensor*

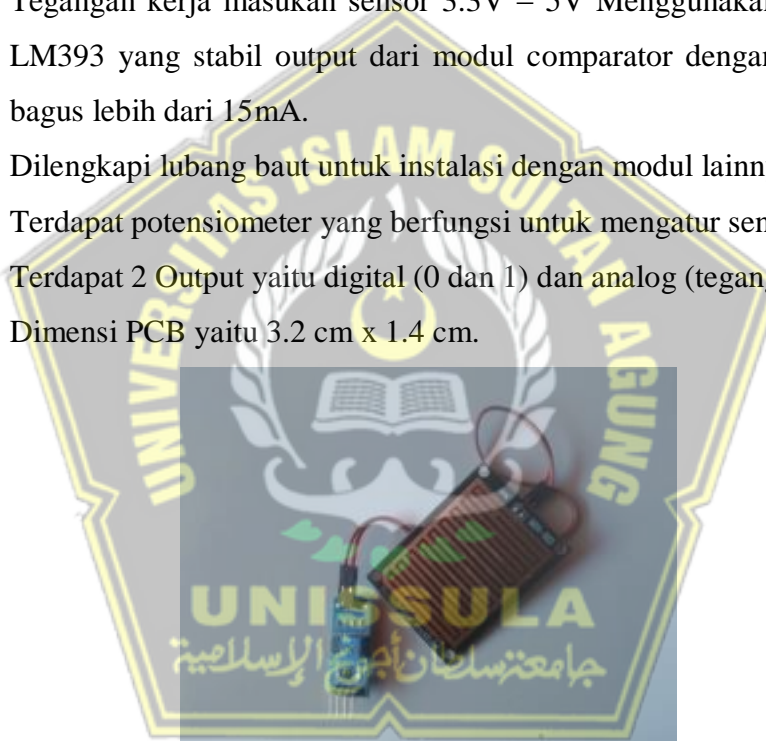
3.5.4 *Raindrop Sensor*

Raindrop sensor adalah jenis sensor yang berfungsi untuk mendeteksi terjadinya hujan atau tidak. Prinsip kerja dari modul sensor ini adalah pada saat ada air hujan turun dan mengenai panel sensor maka akan terjadi proses elektrolisis oleh air hujan. Sensor hujan dapat difungsikan dalam segala macam aplikasi dalam kehidupan sehari-hari. Sensor ini dapat mendeteksi rintik air hujan pada PCB sensornya dan menghasilkan nilai digital atau nilai analog. Selain dirancang untuk mendeteksi air hujan, sensor ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi level air dan lainlain. Pada sensor hujan ini terdapat IC komparator yang membantu mendeteksi kondisi basah atau kering. *Output* dari sensor ini dapat berupa logika *high* dan *low* (*on* atau *off*). Selain itu, pada modul sensor ini terdapat *output* yang berupa tegangan. Sehingga 5 dapat dikoneksikan ke pin khusus arduino yaitu *Analog Digital*

Converter. Output dari sensor ini dapat berupa sinyal analog maupun sinyal digital.

Spesifikasi *Raindrop* sensor:

- 1) Sensor ini bermaterial dari FR-04 dengan dimensi 5cm x 4cm berlapis nikel dan dengan kualitas tinggi pada kedua sisinya.
- 2) Pada lapisan modul mempunyai sifat anti oksidasi sehingga tahan terhadap korosi.
- 3) Tegangan kerja masukan sensor 3.3V – 5V Menggunakan IC comparator LM393 yang stabil output dari modul comparator dengan kualitas sinyal bagus lebih dari 15mA.
- 4) Dilengkapi lubang baut untuk instalasi dengan modul lainnya.
- 5) Terdapat potensiometer yang berfungsi untuk mengatur sensitifitas sensor.
- 6) Terdapat 2 Output yaitu digital (0 dan 1) dan analog (tegangan).
- 7) Dimensi PCB yaitu 3.2 cm x 1.4 cm.



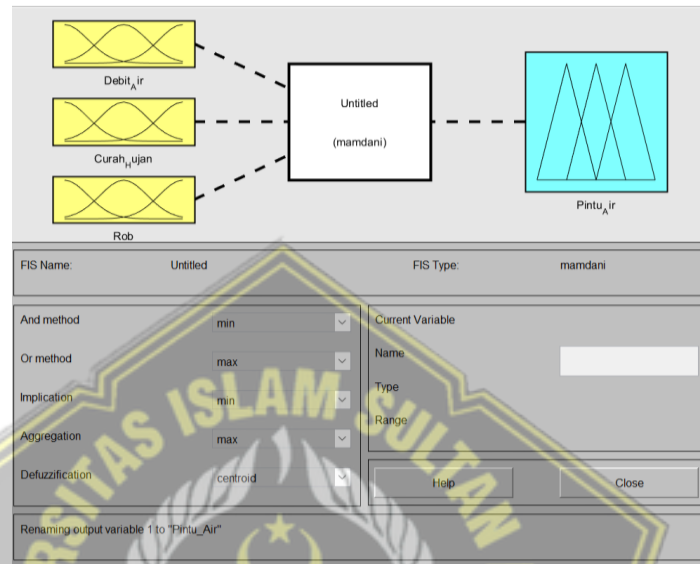
Gambar 3.6 *Raindrop Sensor*

3.5.5 Model *Pintu* Air Menggunakan Logika Fuzzy

a. Fuzzyfikasi

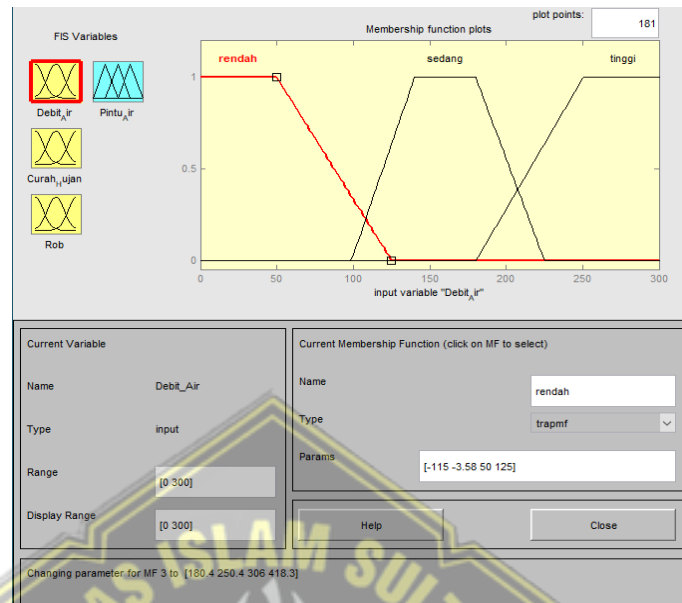
Pada model penelitian ini variabel *input* yang dituliskan pada metode fuzzy input yang pertama adalah tinggi air, yang kedua adalah curah hujan dan yang

ketiga adalah rob, sedangkan variabel *output* adalah pintu air. Parameter fuzzyfikasi *input* dan *output* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.7.



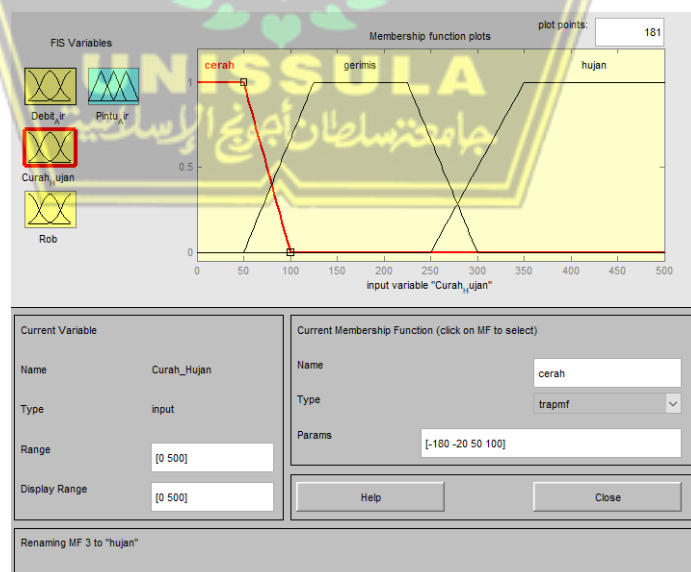
Gambar 3.7 Fuzzy Inference System

Fuzzyfikasi pada variabel *input* tinggi air memiliki 3 nilai linguistik yaitu: **Tinggi**, **Sedang** dan **Rendah**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.8.



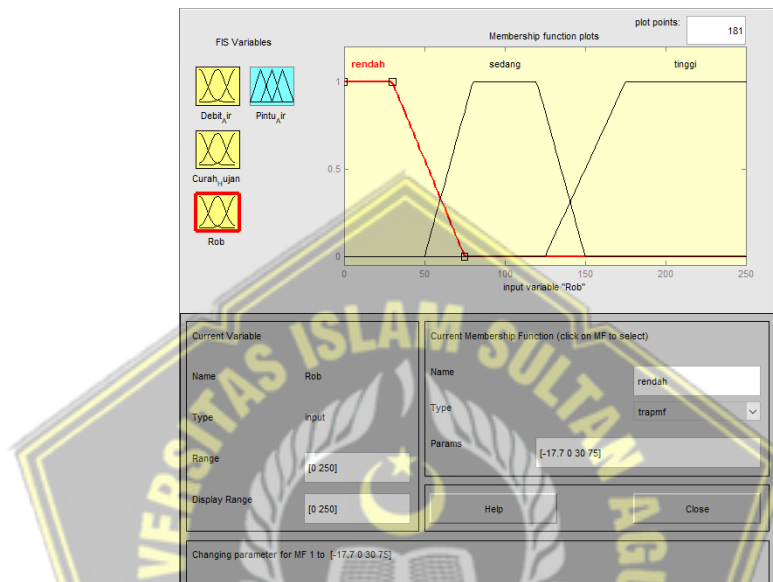
Gambar 3.8 Kurva *Input* Tinggi air

Fuzzyfikasi pada variabel *input* curah hujan memiliki 3 nilai linguistik yaitu :**Tinggi, Sedang** dan **Rendah**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.9.



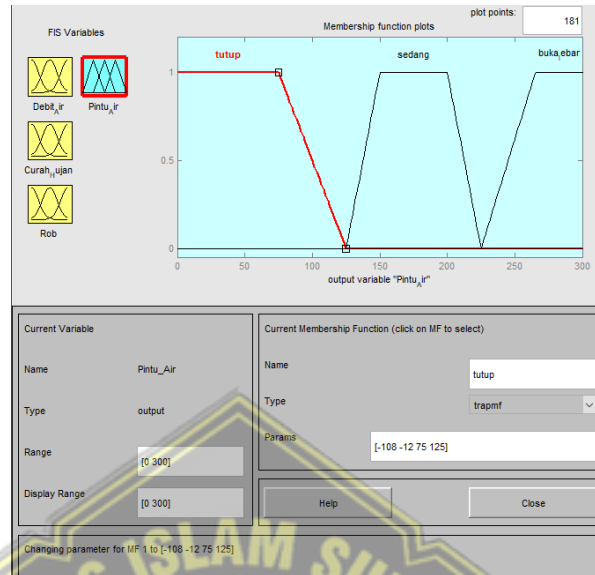
Gambar 3.9 Kurva *Input* Curah Hujan

Fuzzyfikasi pada variabel *input* rob mempunyai 3 nilai linguistik yaitu: **Rendah, Sedang** dan **Tinggi**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Kurva *Input* Rob

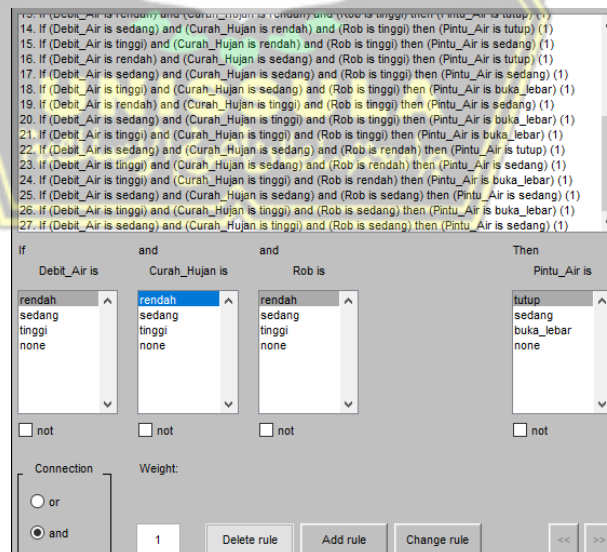
Fuzzyfikasi pada variabel *output* pintu air memiliki 3 nilai linguistik yaitu: **Tutup, Sedang** dan **Buka Lebar**. Variabel *output* pintu air dapat dilihat seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Kurva Output Pintu Air

b. Fuzzy Rule Base

Rule base pembentukan pengetahuan fuzzy direpresentasikan dalam bentuk rule dengan pernyataan *IF -THEN* seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Rule Base

Rule base dari sistem fuzzy yaitu sebagai berikut:

1. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is tutup)
2. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is tutup)
3. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is sedang)
4. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is tutup)
5. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is sedang)
6. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is sedang)
7. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is tutup)
8. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is sedang)
9. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is buka_lebar)
10. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is tutup)

11. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is tutup)
12. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is sedang)
13. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is tutup)
14. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is tutup)
15. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is cerah) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is sedang)
16. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is tutup)
17. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is sedang)
18. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is buka_lebar)
19. If (Tinggi_Air is rendah) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is sedang)
20. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is buka_lebar)
21. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is tinggi) then (Pintu_Air is buka_lebar)

22. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is tutup)

23. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is sedang)

24. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is rendah) then (Pintu_Air is buka_lebar)

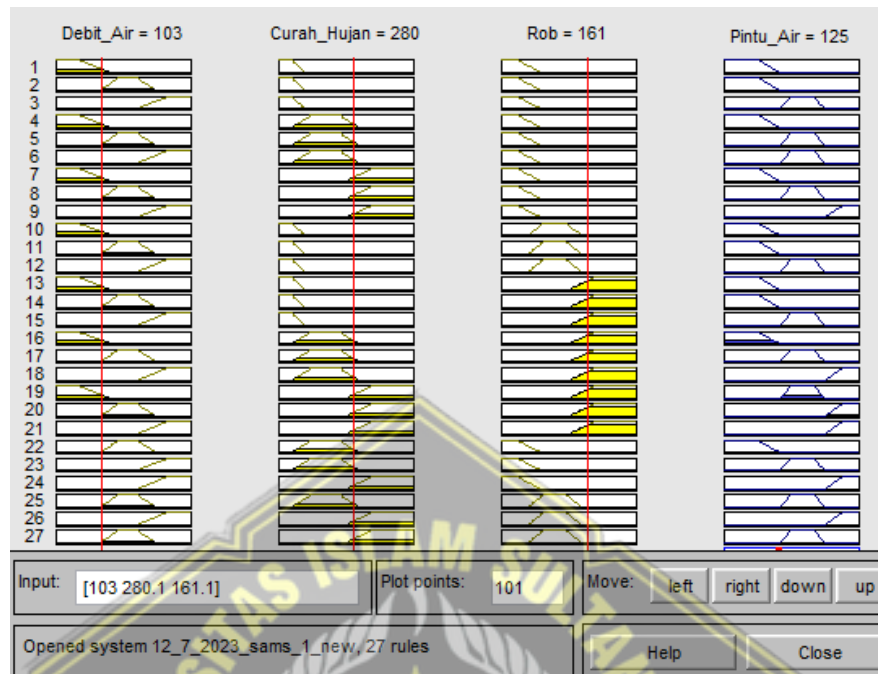
25. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is gerimis) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is sedang)

26. If (Tinggi_Air is tinggi) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is buka_lebar)

27. If (Tinggi_Air is sedang) and (Curah_Hujan is hujan) and (Rob is sedang) then (Pintu_Air is sedang)

c. Fuzzy Inference Engine

Fuzzy Inference Engine digunakan untuk mengevaluasi dan menginterpretasikan semua *rule* secara otomatis atau simultan untuk menghasilkan suatu kesimpulan. *Fuzzy Inference Engine* menggunakan 3 input yang masing-masing mempunyai 3 nilai linguistik untuk menghasilkan 1 *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Fuzzy Inference Engine

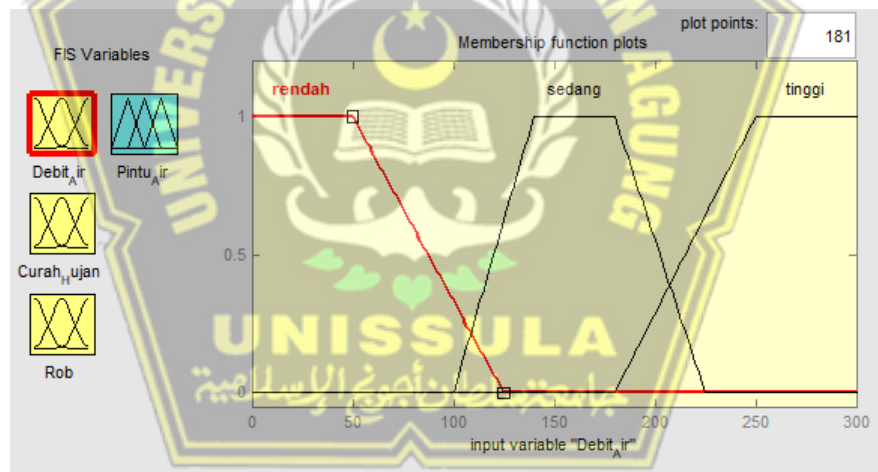
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

4.1 Analisa Fuzzifikasi

Dalam analisa fuzzifikasi pada variabel *input* tinggi air, curah hujan dan rob serta variabel *output* pintu air yaitu:

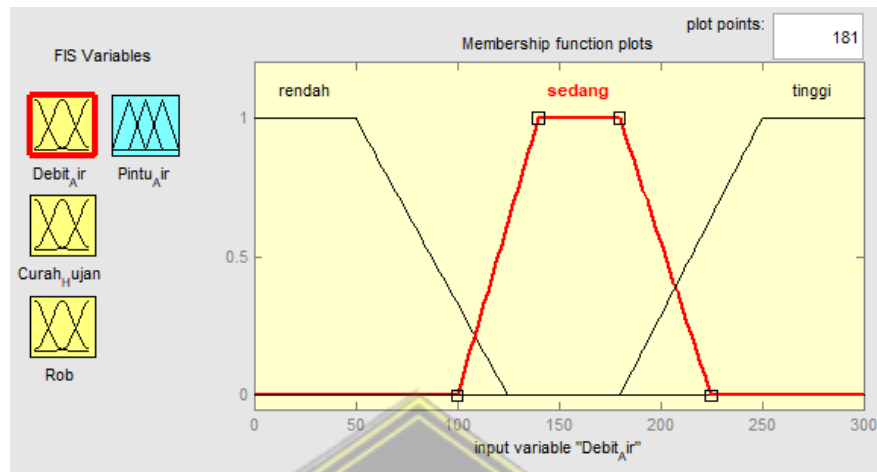
- 1) Variabel *input* tinggi air terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, dan tinggi yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini beserta derajat keanggotaannya.



Gambar 4.1 Variabel Tinggi Air Rendah

Perhitungannya:

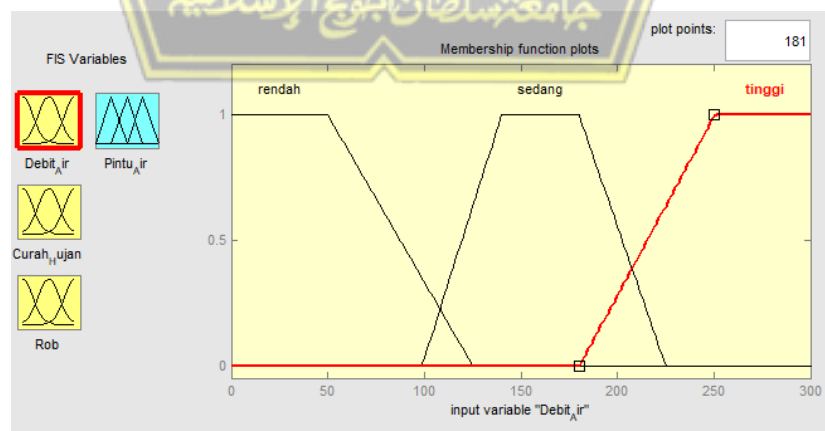
$$1. \mu_{\text{tinggi air rendah}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{125 - x}{75}; & 50 \leq x \leq 125 \\ 0; & x \geq 125 \end{cases}$$



Gambar 4.2 Variabel Tinggi Air Sedang

Perhitungannya:

$$2. \mu_{\text{tinggi air sedang}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 100 \\ \frac{x - 100}{25}; & 100 \leq x \leq 125 \\ 1; & 125 \leq x \leq 175 \\ \frac{225 - x}{50}; & 175 \leq x \leq 225 \\ 0; & x \geq 225 \end{cases}$$



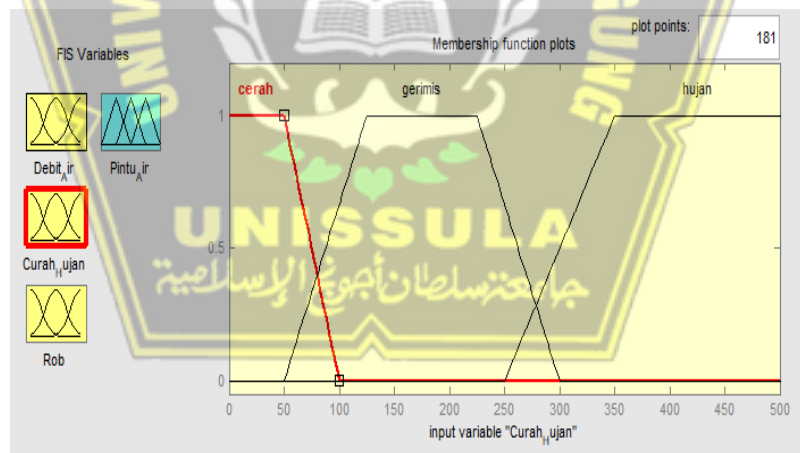
Gambar 4.3 Variabel Tinggi Air Tinggi

Perhitungannya

$$3. \mu_{\text{tinggi air tinggi}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 175 \\ \frac{x - 175}{75}; & 175 \leq x \leq 250 \\ 1; & x \geq 250 \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk variabel tinggi air rendah yaitu 0,73 untuk tinggi air sedang yaitu 0,5 dan untuk tinggi air tinggi yaitu 0,73. Sehingga diperoleh *range* pengukuran tinggi air dengan batas rendahnya adalah 0,5 dan untuk batas tingginya adalah 0,73.

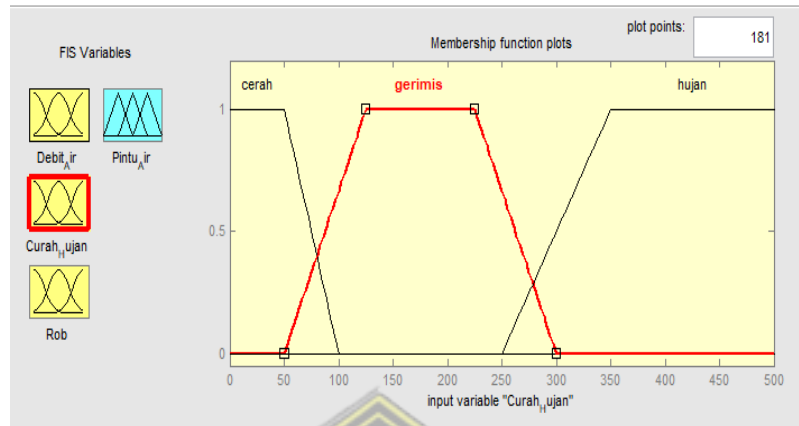
- 2) Variabel *input* curah hujan terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu cerah, gerimis, dan hujan yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini beserta derajat keanggotaannya:



Gambar 4.4 Variabel Curah Hujan Cerah

Perhitungannya

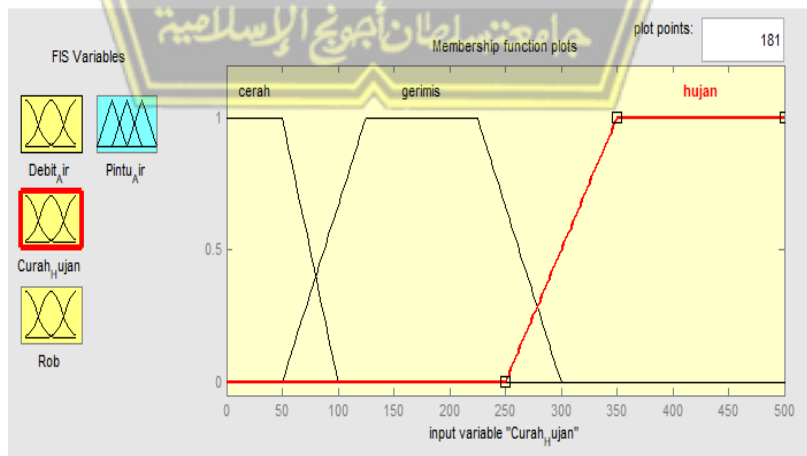
$$1. \mu_{\text{curah hujan cerah}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 50 \\ \frac{100-x}{50}; & 50 \leq x \leq 100 \\ 0; & x \geq 100 \end{cases}$$



Gambar 4.5 Variabel Curah Hujan Gerimis

Perhitungannya

$$2. \mu_{\text{curah hujan gerimis}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}; & c \leq x \leq d \end{cases}$$



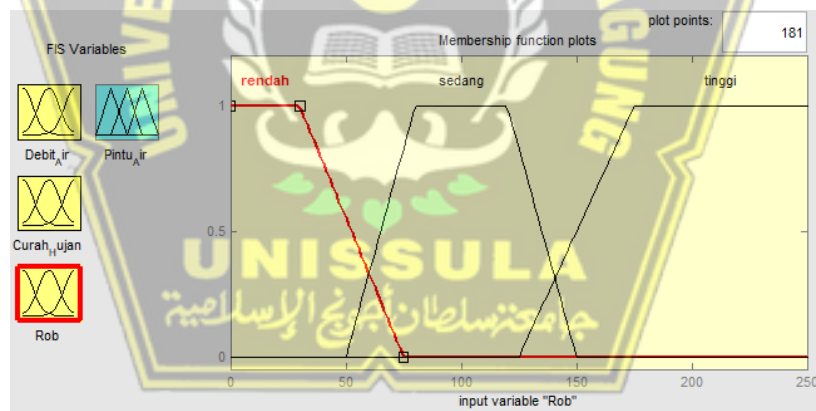
Gambar 4.6 Variabel Curah Hujan Hujan

Perhitungannya

$$3. \mu_{\text{curah hujan hujan}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 250 \\ \frac{x - 250}{100}; & 250 \leq x \leq 350 \\ 1; & x \geq 350 \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk variabel curah hujan cerah yaitu 0,6 untuk curah hujan gerimis yaitu 0,66 dan untuk curah hujan hujan yaitu 0,9. Sehingga diperoleh *range* pengukuran curah hujan dengan batas rendahnya adalah 0,6 dan untuk batas tingginya adalah 0,9

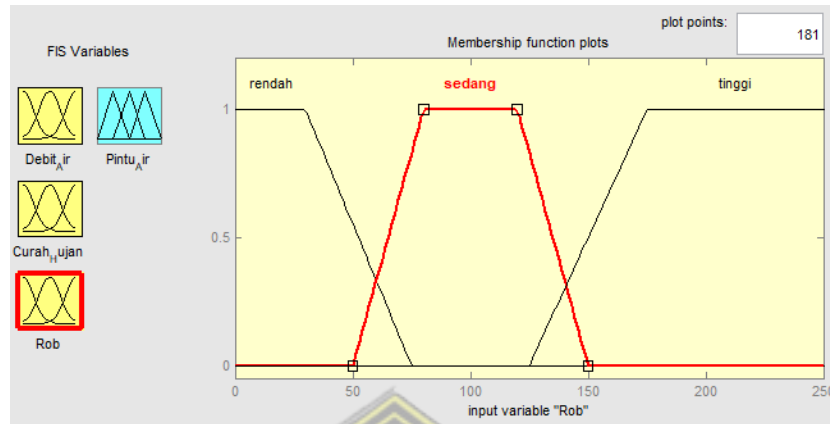
- 1) Variabel *input* rob terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu rendah, sedang, dan tinggi yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini beserta derajat keanggotaannya:



Gambar 4.7 Variabel Rob Rendah

Perhitungannya

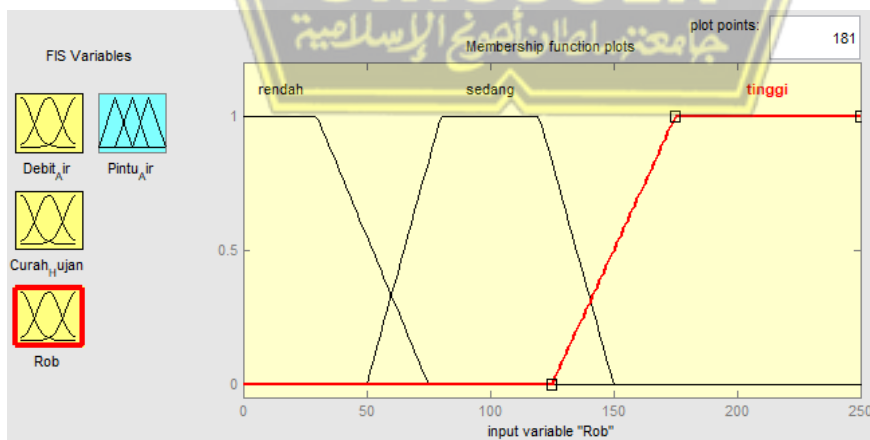
$$1. \mu_{\text{rob rendah}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 30 \\ \frac{75 - x}{45}; & 30 \leq x \leq 75 \\ 0; & x \geq 75 \end{cases}$$



Gambar 4.8 Variabel Rob Sedang

Perhitungan

$$2. \mu_{\text{rob sedang}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ \frac{x - 50}{25}; & 50 \leq x \leq 75 \\ 1; & 75 \leq x \leq 125 \\ \frac{150 - x}{25}; & 125 \leq x \leq 150 \end{cases}$$



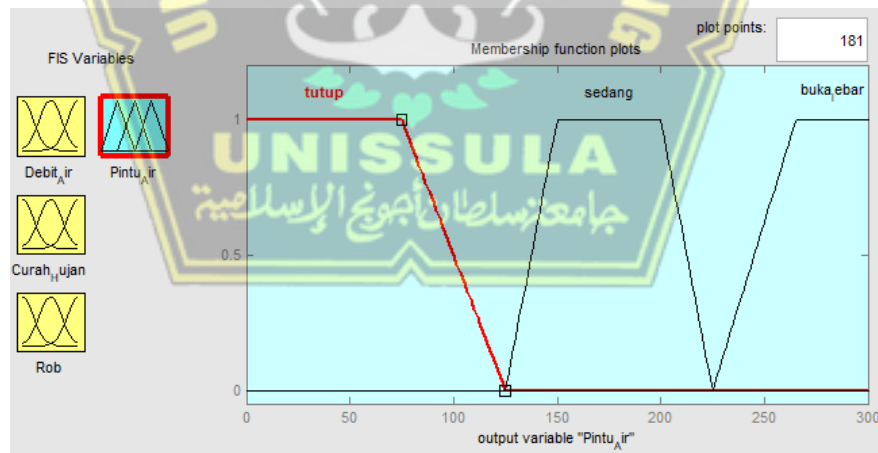
Gambar 4.9 Variabel Rob Tinggi

Perhitungannya

$$3. \mu_{rob\ tinggi}[x] = \begin{cases} 0; & x \leq 125 \\ \frac{x - 125}{50}; & 125 \leq x \leq 175 \\ 1; & x \geq 175 \end{cases}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk variabel rob rendah yaitu 0,55 untuk rob sedang yaitu 0,4 dan untuk rob tinggi yaitu 0,8. Sehingga diperoleh *range* pengukuran rob dengan batas rendahnya adalah 0,4 dan untuk batas tingginya adalah 0,8.

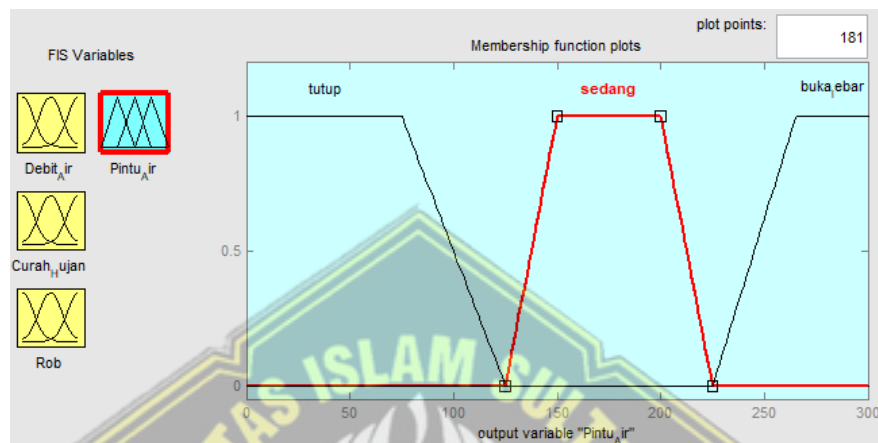
- 2) Variabel *output* pintu air terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu tutup, sedang, dan buka lebar yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini beserta derajat keanggotaannya:



Gambar 4.10 Variabel Pintu Tutup

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk *output* pintu air tutup.

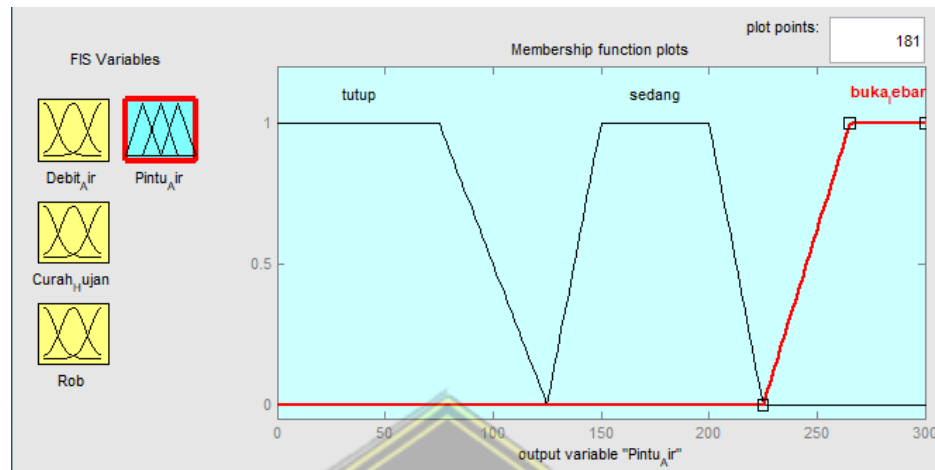
$$1. \mu_{\text{pintu air tutup}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 75 \\ \frac{125 - x}{50}; & 75 \leq x \leq 125 \\ 0; & x \geq 125 \end{cases}$$



Gambar 4.11 Variabel Pintu Sedang

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk *output* pintu air sedang

$$2. \mu_{\text{pintu air sedang}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 125 \\ \frac{x - 125}{25}; & 125 \leq x \leq 150 \\ 1; & 150 \leq x \leq 200 \\ \frac{225 - x}{25}; & 200 \leq x \leq 225 \end{cases}$$



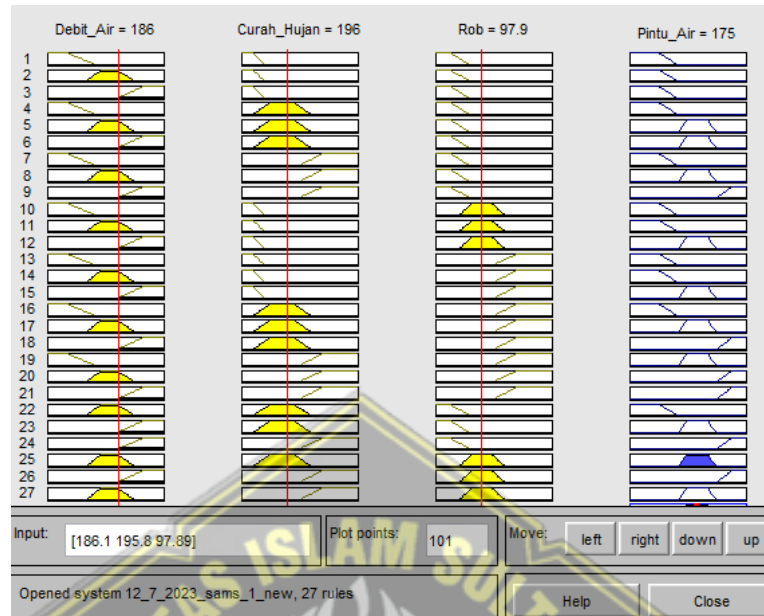
Gambar 4.12 Variabel Pintu Buka Lebar

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk *output* pintu air buka lebar.

$$3. \mu_{\text{pintu air buka lebar}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 225 \\ \frac{x - 225}{35}; & 225 \leq x \leq 260 \\ 1; & x \geq 260 \end{cases}$$

4.2. Analisa Fuzzy Rule Base

Pada mesin inferensi digunakan fungsi *min* untuk setiap aturan pada aplikasi fungsi implikasi bentuk *rule IF – THEN* menggunakan *and*. Dibawah ini adalah gambar dari fungsi implikasi *max-min* pada logika fuzzy MATLAB.



Gambar 4.13 Implikasi *Max-Min*

Sedangkan dalam perhitungan manual bentuk dari fungsi *fuzzy rules base* adalah sebagai berikut:

Rule 1:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Rendah)

$$\alpha_1 = \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}}$$

$$= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [50]$$

$$= \min (0,73; 0,6; 0,55)$$

$$= 0,55$$

Rule 2:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Rendah)

$$\alpha_2 = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}}$$

= min (μ Tinggi_Air Sedang [200] and μ Curah_Hujan Cerah [70] and μ Rob Rendah 50]

$$= \min (0,5; 0,6; 0,55)$$

$$= 0,5$$

Rule 3:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Rendah)

$\alpha_3 = \mu$ Tinggi_Air Tinggi and μ Curah_Hujan Cerah and μ Rob Rendah

= min (μ Tinggi_Air Tinggi [230] and μ Curah_Hujan Cerah [70] and μ Rob Rendah [50]

$$= \min (0,73; 0,6; 0,55)$$

$$= 0,55$$

Rules 4:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$\alpha_4 = \mu$ Tinggi_Air Rendah and μ Curah_Hujan Gerimis and μ Rob Rendah

= min (μ Tinggi_Air Rendah [70] and μ Curah_Hujan Gerimis [100] and μ Rob Rendah [50]

$$= \min (0,73; 0,66; 0,55)$$

$$= 0,55$$

Rules 5:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$\alpha_5 = \mu$ Tinggi_Air Sedang and μ Curah_Hujan Gerimis and μ Rob Sedang

$$\begin{aligned}
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
 &= \min (0,5; 0,66; ,0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 6:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$$\begin{aligned}
 \alpha_6 &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [50] \\
 &= \min (0,73; 0,66 ; 0,55) \\
 &= 0,55
 \end{aligned}$$

Rules 7:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Rendah)

$$\begin{aligned}
 \alpha_7 &= \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
 &= \min (0,5; 0,9; 0,8) \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Rules 8:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Rendah)

$$\alpha_8 = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
 &= \min (0,5; 0,9; 0,8) \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Rules 9:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Rendah)

$$\begin{aligned}
 \alpha_9 &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [50] \\
 &= \min (0,73; 0,9; 0,55) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 10:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Sedang)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{10} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
 &= \min (0,73; 0,6; 0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 11:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Sedang)

$$\alpha_{11} = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
 &= \min (0,5; 0,6; 0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 12:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Sedang)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{12} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
 &= \min (0,73; 0,6; 0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 13:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{13} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
 &= \min (0,73; 0,6; 0,8) \\
 &= 0,6
 \end{aligned}$$

Rules 14:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Tinggi)

$$\alpha_{14} = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}}$$

$$\begin{aligned}
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
&= \min (0,5; 0,6; 0,8) \\
&= 0,5
\end{aligned}$$

Rules 15:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
\alpha_{15} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
&= \min (0,73; 0,6; 0,8) \\
&= 0,6
\end{aligned}$$

Rules 16:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
\alpha_{16} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [165] \\
&= \min (0,73; 0,66; 0,8) \\
&= 0,66
\end{aligned}$$

Rules 17:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Tinggi)

$$\alpha_{17} = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}}$$

$$\begin{aligned}
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
&\quad \text{Tinggi} [165] \\
&= \min (0,5; 0,66; 0,8) \\
&= 0,5
\end{aligned}$$

Rules 18:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
\alpha_{18} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
&\quad \text{Tinggi} [165] \\
&= \min (0,73; 0,66; 0,8) \\
&= 0,66
\end{aligned}$$

Rules 19:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
\alpha_{19} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [70] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
&\quad \text{Tinggi} [165] \\
&= \min (0,73; 0,9; 0,8) \\
&= 0,73
\end{aligned}$$

Rules 20:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Tinggi)

$$\alpha_{20} = \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
 &\quad \text{Tinggi} [165] \\
 &= \min (0,5; 0,9; 0,8) \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Rules 21:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Tinggi)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{21} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
 &\quad \text{Tinggi} [165] \\
 &= \min (0,73; 0,9; 0,8) \\
 &= 0,8
 \end{aligned}$$

Rules 22:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{22} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob}} \\
 &\quad \text{Rendah} [50] \\
 &= \min (0,5; 0,66; 0,55) \\
 &= 0,5
 \end{aligned}$$

Rules 23:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$$\alpha_{23} = \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [50] \\
 &= \min (0,73; 0,66; 0,55) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 24:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Rendah)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{24} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [50] \\
 &= \min (0,73; 0,66; 0,55) \\
 &= 0,55
 \end{aligned}$$

Rules 25:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Sedang)

$$\begin{aligned}
 \alpha_{25} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} \\
 &= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [100] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
 &= \min (0,5; 0,66; 0,4) \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

Rules 26:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Sedang)

$$\alpha_{26} = \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}}$$

$$\begin{aligned}
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [230] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
&= \min (0,73; 0,9; 0,4) \\
&= 0,4
\end{aligned}$$

Rules 27:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Hujan) and (Rob is Sedang)

$$\begin{aligned}
\alpha_{27} &= \mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} \\
&= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Sedang}} [200] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Hujan}} [340] \text{ and } \mu_{\text{Rob Sedang}} [140] \\
&= \min (0,5; 0,9; 0,4) \\
&= 0,4
\end{aligned}$$

4.3 Fuzzy Inference Engine

Fungsi *fuzzy inference engine* yaitu digunakan untuk mengevaluasi dan menginterpretasikan semua *rule* secara simultan untuk menghasilkan kesimpulan.

Fuzzy *inference engine* menggunakan tiga masukan untuk menghasilkan satu *output* seperti dibawah ini:

$$1. \mu_{\text{pintu air tutup}} [x] = \begin{cases} 1; & x \leq 75 \\ \frac{125-x}{125-75}; & 75 \leq x \leq 125 \\ 0; & x \geq 125 \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$2. \mu_{\text{pintu air sedang}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 125 \\ \frac{x-125}{150-125}; & 125 \leq x \leq 150 \\ 1; & 150 \leq x \leq 200 \\ \frac{225-x}{225-200}; & 200 \leq x \leq 225 \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$3. \mu_{\text{pintu air buka lebar}} [x] = \begin{cases} 0; & x \leq 225 \\ \frac{x-225}{260-225}; & 225 \leq x \leq 260 \\ 1; & x \geq 260 \end{cases} \dots\dots\dots (2.1)$$

Di bawah ini adalah studi kasus yang diambil dari pembacaan sensor tinggi air, curah hujan dan rob adalah sebagai berikut: nilai sensor curah hujan yaitu 11,99 cm, sensor curah hujan yaitu 6,03 cm dan rob yaitu 13,01 cm.

$$1. \mu_{\text{tinggi air sedang}} [11,99] = \begin{cases} 0; & 11,99 \leq 12,5 \\ \frac{11,99 - 10}{12,5 - 10}; & 10 \leq 11,99 \leq 12,5 \\ 1; & 12,5 \leq 11,99 \leq 17,5 \\ \frac{22,5 - 11,99}{22,5 - 17,5}; & 17,5 \leq 11,99 \leq 22,5 \end{cases}$$

$$= (11,99 - 10) / (12,5 - 10) = 0,796$$

$$2. \mu_{\text{curah hujan rendah}} [6,03] = \begin{cases} 1; & 6,03 \leq 5 \\ \frac{10-6,03}{10-5}; & 5 \leq 6,03 \leq 10 \\ 0; & 6,03 \geq 10 \end{cases}$$

$$= (10 - 6,03) / (10 - 5) = 0,794$$

$$3. \mu_{\text{rob sedang}} [13,01] = \begin{cases} 0; & 13,01 \leq 5 \\ \frac{13,01 - 5}{7,5 - 5}; & 5 \leq 13,01 \leq 7,5 \\ 1; & 7,5 \leq 13,01 \leq 12,5 \\ \frac{15 - 13,01}{15 - 12,5}; & 12,5 \leq 13,01 \leq 15 \end{cases}$$

$$= (15 - 13,01) / (15 - 12,5) = 0,796$$

Rule 1

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (125 - x_1) / (125 - 75)$$

$$x_1 = 125 - (0,55 * 50) = 97,5$$

Rule 2

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (125 - x_2) / (125 - 75)$$

$$x_2 = 125 - (0,5 * 50) = 100$$

Rule 3

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (125 - x_3) / (125 - 75)$$

$$x_3 = 125 - (0,55 * 50) = 97,5$$

Rule 4

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (125 - x_4) / (125 - 75)$$

$$x_4 = 125 - (0,55 * 50) = 97,5$$

Rule 5

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x_5 - 125) / (150 - 125)$$

$$x_5 = 125 + (0,4 * 25) = 135$$

Rule 6

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (x_6 - 125) / (150 - 125)$$

$$x_6 = 125 + (0,55 * 25) = 138,75$$

Rule 7

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (125 - x_7) / (125 - 75)$$

$$x_7 = 125 - (0,5 * 50) = 97,5$$

Rule 8

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (x8 - 125) / (150 - 125)$$

$$x8 = 125 + (0,55 * 25) = 138,75$$

Rule 9

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (x9 - 225) / (260 - 225)$$

$$x9 = 225 + (0,55 * 35) = 227,75$$

Rule 10

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (125 - x10) / (125 - 75)$$

$$x10 = 125 - (0,4 * 50) = 105$$

Rule 11

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (125 - x11) / (125 - 75)$$

$$x11 = 125 - (0,4 * 50) = 105$$

Rule 12

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x12 - 125) / (150 - 125)$$

$$x12 = 125 + (0,4 * 25) = 135$$

Rule 13

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,6 maka,

$$0,6 = (125 - x_{13}) / (125 - 75)$$

$$x_{13} = 125 - (0,6 * 50) = 95$$

Rule 14

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (125 - x_{14}) / (125 - 75)$$

$$x_{14} = 125 - (0,5 * 50) = 100$$

Rule 15

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,6 maka,

$$0,6 = (x_{15} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{15} = 125 + (0,6 * 25) = 140$$

Rule 16

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,66 maka,

$$0,66 = (125 - x_{16}) / (125 - 75)$$

$$x_{16} = 125 - (0,66 * 50) = 92$$

Rule 17

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (x_{17} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{17} = 125 + (0,5 * 25) = 137,5$$

Rule 18

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,66 maka,

$$0,66 = (x_{18} - 225) / (260 - 255)$$

$$x_{18} = 225 + (0,66 * 5) = 228,3$$

Rule 19

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,73 maka,

$$0,73 = (x_{19} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{19} = 125 + (0,73 * 25) = 128,65$$

Rule 20

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (x_{20} - 225) / (260 - 255)$$

$$x_{20} = 225 + (0,5 * 5) = 227,5$$

Rule 21

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,8 maka,

$$0,8 = (x_{21} - 225) / (260 - 255)$$

$$x_{21} = 225 + (0,8 * 5) = 229$$

Rule 22

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,5 maka,

$$0,5 = (125 - x_{22}) / (125 - 75)$$

$$x_{22} = 125 - (0,5 * 50) = 122,5$$

Rule 23

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x_{23} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{23} = 125 + (0,4 * 25) = 127$$

Rule 24

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,55 maka,

$$0,55 = (x_{24} - 225) / (260 - 225)$$

$$x_{24} = 225 + (0,55 * 35) = 227,75$$

Rule 25

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x_{25} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{25} = 125 + (0,4 * 25) = 135$$

Rule 26

Pintu Air Buka Lebar dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x_{26} - 225) / (260 - 225)$$

$$x_{26} = 225 + (0,4 * 35) = 227$$

Rule 27

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,4 maka,

$$0,4 = (x_{27} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{27} = 125 + (0,4 * 25) = 135$$

4.4 Defuzzifikasi

Defuzification pada percobaan ini menggunakan metode *center average defuzification* karena *output* fungsi keanggotaan dari beberapa proses fuzzy mempunyai bentuk yang hampir sama. Pada metode ini mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan berupa derajat keanggotaan. Berikut ini adalah perhitungan *defuzification center average defuzzifer*.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{0,55 * 97,5 + 0,5 * 100 + 0,55 * 97,5 + 0,55 * 97,5 + 0,4 * 135 + 0,55 * 138,75 +}{0,55 + 0,5 + 0,55 + 0,55 + 0,4 + 0,55} \\
 &+ \frac{0,5 * 97,5 + 0,5 * 138,75 + 0,4 * 227,75 + 0,4 * 105 + 0,4 * 105 + 0,4 * 135 +}{0,5 + 0,5 + 0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,4} \\
 &+ \frac{0,6 * 95 + 0,5 * 100 + 0,6 * 140 + 0,66 * 92 + 0,5 * 137,5 + 0,66 * 22,3 +}{0,6 + 0,5 + 0,6 + 0,66 + 0,5 + 0,66} \\
 &+ \frac{0,73 * 128,65 + 0,5 * 227,5 + 0,8 * 229 + 0,5 * 122,5 + 0,4 * 127 + 0,55 * 227,75 +}{0,73 + 0,5 + 0,8 + 0,5 + 0,4 + 0,55} \\
 &+ \frac{0,4 * 135 + 0,4 * 227 + 0,4 * 135}{0,4 + 0,4 + 0,4} \\
 x &= \frac{550.3125}{13,9} = 133,135072
 \end{aligned}$$

Jadi, nilai yang dihasilkan pada perhitungan manual adalah **133,134** sedangkan dalam perhitungan dengan analisis matlab adalah **125**. Sehingga selisih

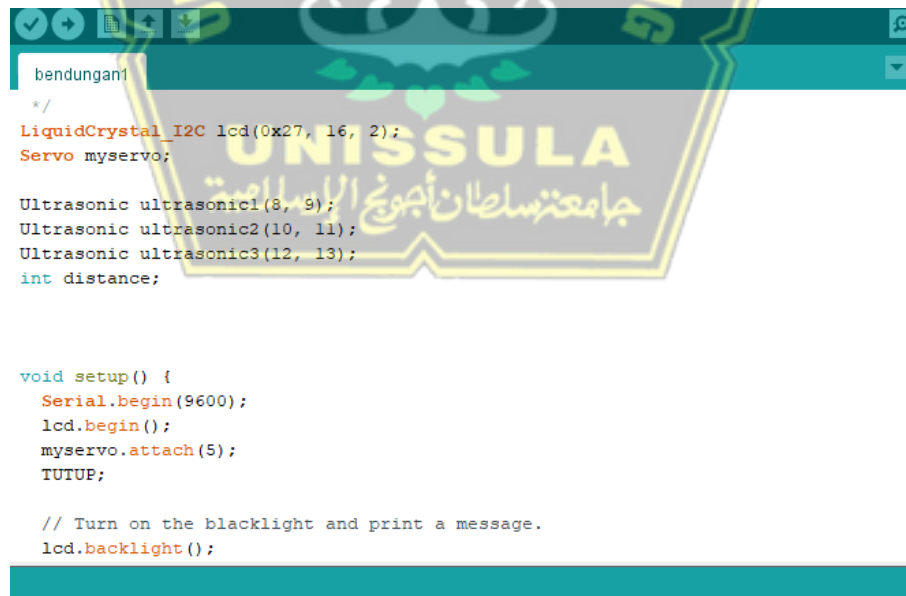
rata-rata perhitungan yang dihasilkan dari metode fuzzy dengan menggunakan *Mean Squared Error* adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{(133,134 - 125)^2}{1} = 1.66$$

Sehingga rata-rata nilai *Mean Squared Error* adalah **1.66**

4.5. Pengujian Mikrokontroler Arduino

Tujuan dari pengujian mikrokontroler arduino ini untuk mengetahui arduino dapat berjalan dengan baik, serta dapat mengeksekusi program dengan urut dan benar. Pada pengujian ini menggunakan *software* arduino IDE.



```

bendungan1
*/
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
Servo myservo;

Ultrasonic ultrasonic1(8, 9);
Ultrasonic ultrasonic2(10, 11);
Ultrasonic ultrasonic3(12, 13);
int distance;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin();
  myservo.attach(5);
  TUTUP;

  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();

```

Gambar 4.14 *Compile Project*

Langkah selanjutnya setelah meng-*compile* program selesai, maka selanjutnya yaitu mengupload program ke arduino seperti pada Gambar 4.15.

```

bendungan1
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Servo.h>

#define DR srf1()>13
#define CR srf2()>13
#define RR srf3()>20
#define DS srf1()<=13&&srfl()>=11
#define CS srf2()<=13&&srfl()>=11
#define RS srf3()<=20&&srfl()>=17
#define DT srf1()<11
#define CT srf2()<11
#define RT srf3()<17
#define TUTUP myservo.write(0)///; delay(100)
#define SEDANG myservo.write(85)///; delay(100)
#define BUKA myservo.write(110)///; delay(100)
/*
 * Pass as a parameter the trigger and echo pin, respectively,
 * or only the signal pin (for sensors 3 pins) like:

```

Gambar 4.15 Upload Program

Pada gambar diatas diketahui bahwa mikrokontroler arduino dapat digunakan dan tidak terjadi kerusakan saat *upload* program.

4.6. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SRF04

Tujuan dari pengujian sensor ini adalah untuk membaca ketinggian air menggunakan *software* arduino IDE dengan jalur komunikasi 2 *wire* yang telah disediakan pada arduino IDE. Pada pengujian sensor HC-SRF04 melakukan pembacaan tinggi air, curah hujan, dan rob. Pengujian sensor menggunakan penggaris manual, adapun hasil pembacaan sensor HC-SRF04 pada Tabel 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.16 Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SRF04

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa sensor Ultrasonik HC-SRF04 mampu untuk mengukur jarak benda yang ada di depan dan nilainya akan ditampilkan pada LCD.

Tabel 4.1 Pembacaan Sensor HC-SRF04

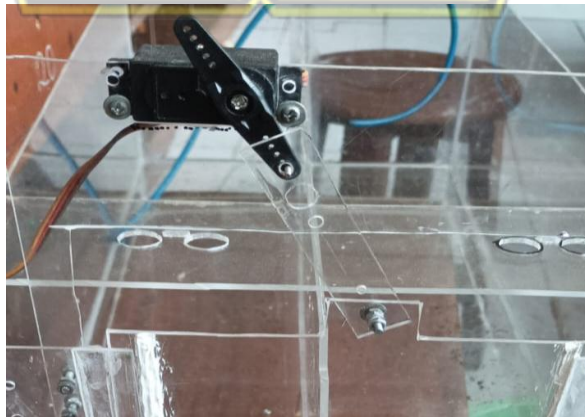
Percobaan	Penggaris	Sensor HC-SRF04	Selisih
1	5 cm	5,05 cm	0,05
2	7 cm	7,10 cm	0,10
3	10 cm	10,05 cm	0,05
4	15 cm	15,03 cm	0,03
5	16 cm	16,61 cm	0,61
6	17 cm	17,32 cm	0,32
7	18 cm	18,11 cm	0,11

Percobaan	Penggaris	Sensor HC-SRF04	Selisih
8	20 cm	20,13 cm	0,13
9	22 cm	22,02 cm	0,02
10	25 cm	25,23 cm	0,23
Rata - Rata			0,165

Kesimpulan dari hasil percobaan sensor HC-SRF04 dan penggaris manual dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pada tabel tersebut selisih dari pembacaan sensor dengan pembacaan manual menggunakan penggaris adalah 0,165 cm.

4.7. Pengujian Motor Servo

Pada pengujian motor servo yaitu untuk mengatur buka tutup pintu air sesuai dengan *rule* dan program yang telah dibuat pada arduino IDE. Penguji pergerakan motor servo untuk menggerakkan pintu air yaitu dengan mengaktifkan sensor HC-SRF04.

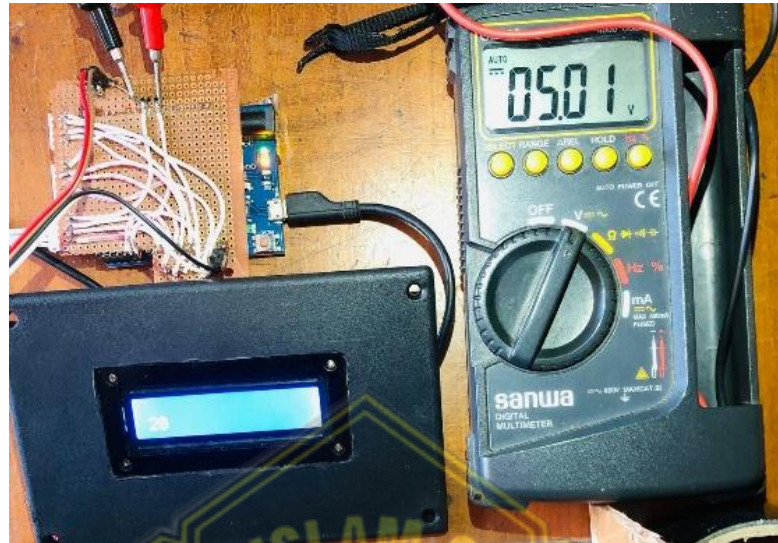


Gambar 4.17 Pengujian Motor Servo Memenuhi Kondisi

Tabel 4.2 Pembacaan Derajat Servo

Percobaan	Derajat dalam Program	Derajat Aktual	Selisih (cm)
1	5	5,2	0,2
2	10	10,3	0,3
3	30	30	0
4	45	45,6	0,6
5	60	60	0
6	90	90,5	0,5
7	110	110,1	0,1
8	125	125,2	0,2
9	150	150,3	0,3
10	180	180	0
Rata-Rata			0,22

Kesimpulan dari hasil percobaan sensor servo dan penggaris manual dapat dilihat pada Tabel 4.2. Pada tabel tersebut selisih rata-rata dari pembacaan sensor dengan pembacaan manual menggunakan penggaris adalah 0,22 cm.

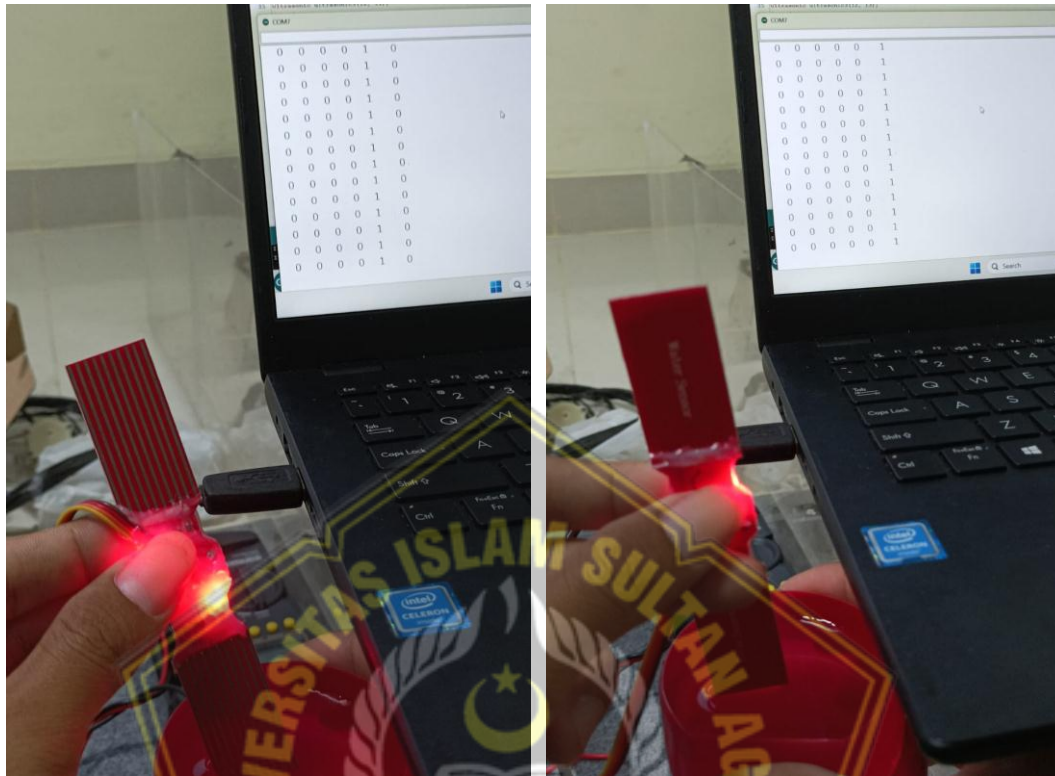


Gambar 4.18 Pengujian Pin Tegangan Keluaran Motor Servo

Kesimpulan dari hasil pengujian motor servo yang telah dilakukan yaitu motor servo dapat memenuhi keseluruhan kondisi perintah yang ditulis pada arduino IDE.

4.8. Hasil Pengujian Water Level Sensor

Tujuan pengujian sensor ini adalah untuk mengukur tingkat air dengan menggunakan perangkat lunak arduino IDE. Pada sensor *level* air ini, komunikasi dilakukan melalui pin analog. Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan nilai yang dibaca oleh sensor ketika terkena air dan ketika tidak terkena air. Hasil pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.18 Pengujian Water Level Sensor

4.9. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

Hasil pengujian keseluruhan meliputi pengujian dari setiap *software* maupun *hardware*. Pengujian *software* meliputi program yang telah ditulis dan di *upload* pada arduino. Pengujian *hardware* meliputi pemasangan setiap komponen dan sumber tegangan. Tujuan dari pengujian sistem ini adalah menguji sistem keseluruhan dari *software* dan *hardware* untuk mengetahui pintu air otomatis sudah berfungsi.

Pengujian dilakukan secara bertahap dan berulang-ulang, pengujian pertama dilakukan sebanyak 5 kali perulangan dengan kondisi *input* yang bervariasi. Tabel 4.3 pengujian tahap pertama diperoleh data seperti dibawah ini.

Tabel 4.3 Pengujian Pertama Pintu Air Otomatis

No	<i>Input</i>			<i>Output</i>	Status	Waktu (detik)
	Tinggi air	Curah Hujan	Rob			
1	2,04 cm	4 cm	2,32 cm	0,452 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	0
2	14,3 cm	7,48 cm	4,22 cm	1,5 cm (Pintu Sedang)	Berhasil	9
3	20,9 cm	2,4 cm	1,9 cm	1,5 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	0
4	16,6 cm	10,5 cm	16,1 cm	2,51 cm (Pintu Buka Lebar)	Berhasil	24
5	16,09 cm	10 cm	17,3 cm	2,56 cm (Pintu Buka Lebar)	Berhasil	25
Rata-Rata						11,6

Pada Tabel 4.3 adalah hasil dari pengujian pertama pintu air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka dan menutup. Pada data diatas dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka sampai kondisi air rendah yaitu selama 11,6 detik.

Contoh perhitungan percobaan no 2.

$$1. \mu_{\text{tinggi air tinggi}} [14,3] = \begin{cases} 0; & 14,3 \leq 13 \\ \frac{14,3 - 13}{2}; & 13 \leq 14,3 \leq 21 \\ 1; & 14,3 \geq 21 \end{cases}$$

$$= (14,3 - 13)/(2) = 0,65$$

$$2. \mu_{\text{curah hujan gerimis}} [7,48] = \begin{cases} 0; & 7,48 \leq 6 \\ \frac{7,48 - 6}{2}; & 6 \leq 7,48 \leq 8 \\ 1; & 8 \leq 7,48 \leq 11 \\ \frac{13 - 7,48}{2}; & 11 \leq 7,48 \leq 13 \end{cases}$$

$$= (7,48 - 6)/(2) = 0,74$$

$$3. \mu_{\text{rob rendah}} [4,22] = \begin{cases} 1; & 4,22 \leq 3 \\ \frac{6 - 4,22}{3}; & 3 \leq 4,22 \leq 6 \\ 0; & 4,33 \geq 6 \end{cases}$$

$$= (6 - 4,22)/(3) = 0,59$$

Rules 23:

If (Tinggi_Air is Tinggi) and (Curah_Hujan is Gerimis) and (Rob is Rendah)

$\alpha_{23} = \mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}}$

$$= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Tinggi}} [14,3] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Gerimis}} [7,48] \text{ and } \mu_{\text{Rob Rendah}} [4,22])$$

$$= \min (0,65; 0,74; 0,59)$$

$$= 0,59$$

Fuzzy inference engine:

Rule 23

Pintu Air Sedang dengan nilai 0,59 maka,

$$0,59 = (x_{23} - 125) / (150 - 125)$$

$$x_{23} = 125 + (0,59 * 25) = 139,75$$

Defuzzifikasi:

$$x = \frac{0,59 * 139,75}{0,59} = 139,75, \quad \text{dibulatkan } 140 \text{ mm, dikonversi dlm } 1,4 \text{ cm}$$

Hasil yang diperoleh melalui perhitungan yaitu 1,4cm dan hasil output implementasinya 1,5cm, sehingga terdapat selisih 0,1.

Tabel 4.4 Pengujian Kedua Pintu Air Otomatis

No	Input			Output	Status	Waktu (detik)
	Tinggi air	Curah Hujan	Rob			
1	8,48 cm	6,96 cm	16,6 cm	1,5 cm (Pintu Sedang)	Berhasil	9
2	3,9 cm	3,42 cm	19,4 cm	0,441 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	8
3	20,1 cm	18,6 cm	1,9 cm	2,58 cm (Pintu Buka Lebar)	Berhasil	21
4	10,5 cm	15,6 cm	14,8 cm	1,5 cm (Pintu Buka Lebar)	Berhasil	23
5	16,3 cm	15,3 cm	10,8 cm	2,56 cm (Pintu Buka Lebar)	Berhasil	24
Rata-Rata						17

Pada Tabel 4.4 adalah hasil dari pengujian kedua pintu air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka dan menutup. Pada data diatas dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka sampai kondisi air rendah yaitu selama 17 detik.

Contoh perhitungan peercobaan no 2.

$$1. \mu_{\text{tinggi air rendah}} [3,9] = \begin{cases} 1; & 3,9 \leq 3 \\ \frac{6 - 3,9}{3}; & 3 \leq 3,9 \leq 6 \\ 0; & 3,9 \geq 6 \end{cases}$$

$$= (6 - 3,9)/(3) = 0,7$$

$$2. \mu_{\text{curah hujan cerah}} [3,42] = \begin{cases} 1; & 3,42 \leq 3 \\ \frac{6 - 3,42}{3}; & 3 \leq 3,42 \leq 6 \\ 0; & 3,42 \geq 6 \end{cases}$$

$$= (6 - 3,42)/(3) = 0,86$$

$$3. \mu_{\text{rob tinggi}} [19,4] = \begin{cases} 0; & 19,4 \leq 3 \\ \frac{19,4 - 13}{2}; & 13 \leq 19,4 \leq 15 \\ 1; & 19,4 \geq 15 \end{cases}$$

$$= 1$$

Rules 13:

If (Tinggi_Air is Rendah) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Tinggi)

$\alpha_{13} = \mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}}$

$$= \min (\mu_{\text{Tinggi_Air Rendah}} [3,9] \text{ and } \mu_{\text{Curah_Hujan Cerah}} [3,42] \text{ and } \mu_{\text{Rob Tinggi}} [19,4]$$

$$= \min (0,7; 0,86; 1)$$

$$= 0,7$$

Fuzzy inference engine:

Rule 13

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,7 maka,

$$0,7 = (125 - x13) / (125 - 75)$$

$$x13 = 125 - (0,7 * 50) = 90$$

Defuzzifikasi:

$$x = \frac{0,7 * 90}{0,7} = 90, \quad \text{dikonversi dlm } 0,9 \text{ cm}$$

Hasil yang diperoleh melalui perhitungan yaitu 0,9cm dan hasil output implementasinya 0,441cm, sehingga terdapat selisih 0,459.

Tabel 4.5 Pengujian Ketiga Pintu Air Otomatis

No	Input			Output	Status	Waktu yang Dibutuhkan (detik)
	Tinggi air	Curah Hujan	Rob			
1	7,46 cm	5,69 cm	3,67 cm	0,485 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	0
2	2,3 cm	2 cm	2,04cm	0,433 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	0
3	2,05 cm	20 cm	19,20 cm	1,5 cm (Pintu Sedang)	Berhasil	24
4	3,11 cm	1 cm	22,19 cm	0,435 cm (Pintu Tutup)	Berhasil	0
5	16,10 cm	4 cm	1,91 cm	1,5 cm (Pintu Sedang)	Berhasil	0
Rata-Rata						4,8

Pada tabel 4.5 adalah hasil dari pengujian ketiga pintu air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka dan menutup. Pada data diatas dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan pintu air untuk membuka sampai kondisi air rendah yaitu selama 4,8 detik. Sehingga dapat diperoleh rata-rata waktu 11,13 detik untuk membuka atau menutup pintu air kembali sampai kondisi air rendah.

Contoh perhitungan peercobaan no 1.

$$1. \mu \text{ tinggi air sedang } [7,46] = \begin{cases} 0; & 7,46 \leq 6 \\ \frac{7,46 - 6}{2}; & 6 \leq 7,46 \leq 8 \\ 1; & 8 \leq 7,46 \leq 11 \\ \frac{13 - 7,46}{2}; & 11 \leq 7,46 \leq 13 \end{cases}$$

$$= (7,46 - 6)/(2) = 0,73$$

$$2. \mu \text{ curah hujan cerah } [5,69] = \begin{cases} 1; & 5,69 \leq 3 \\ \frac{6 - 5,69}{3}; & 3 \leq 5,69 \leq 6 \\ 0; & 5,69 \geq 6 \end{cases}$$

$$= (6 - 5,69)/(3) = 0,10$$

$$3. \mu \text{ rob rendah } [3,67] = \begin{cases} 1; & 3,67 \leq 3 \\ \frac{6 - 3,67}{3}; & 3 \leq 3,67 \leq 6 \\ 0; & 3,67 \geq 6 \end{cases}$$

$$= (6 - 3,67)/(3) = 0,77$$

Rule 2:

If (Tinggi_Air is Sedang) and (Curah_Hujan is Cerah) and (Rob is Rendah)

$\alpha_2 = \mu$ Tinggi_Air Sedang and μ Curah_Hujan Cerah and μ Rob Rendah

$= \min (\mu$ Tinggi_Air Sedang [200] and μ Curah_Hujan Cerah [70] and μ Rob Rendah 50]

$$= \min (0,73; 0,10; 0,77)$$

$$= 0,1$$

Fuzzy inference engine:

Rule 2

Pintu Air Tutup dengan nilai 0,1 maka,

$$0,1 = (125 - x_2) / (125 - 75)$$

$$x_2 = 125 - (0,1 * 50) = 120$$

Defuzzifikasi:

$$x = \frac{0,1 * 120}{0,1} = 120, \quad \text{dikonversi dlm } 0,12 \text{ cm}$$

Hasil yang diperoleh melalui perhitungan yaitu 0,12cm dan hasil output implementasinya 0,485cm, sehingga terdapat selisih 0,365.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

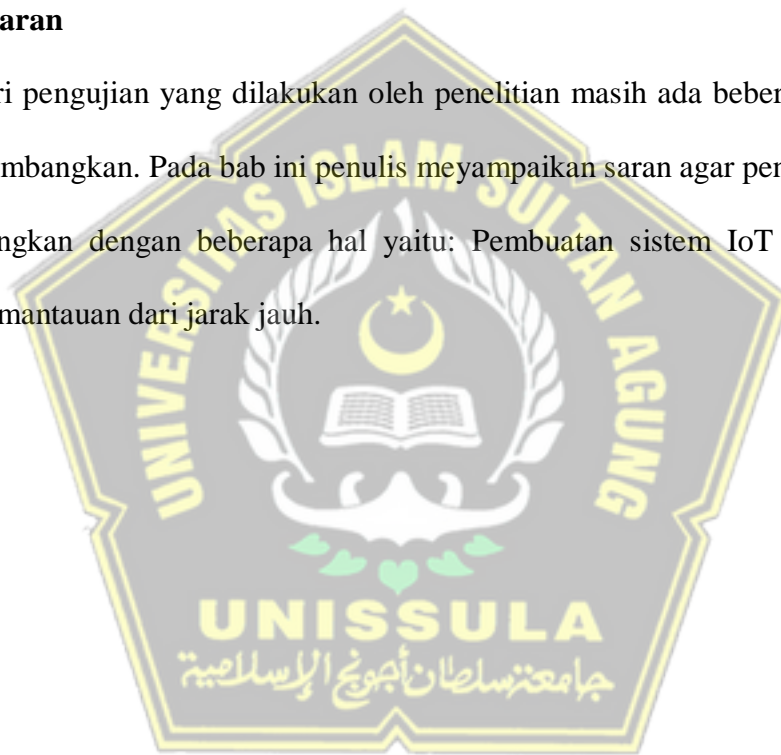
Hasil dari kajian dan pengujian pada sistem kendali otomatis kanal pintu air berbasis logika fuzzy mamdani pada bendung gerak kanal banjir barat kota semarang diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengujian sistem kendali pintu air otomatis menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler dan sensor HC-SRF04 sebagai pengukur ketinggian tinggi air, curah hujan dan rob serta motor servo sebagai penggerak pintu air dapat bekerja dengan baik.
2. Pengujian yang sudah dilakukan diperoleh waktu rata-rata pintu air mampu untuk menutup atau mengkondisikan ketinggian air secara normal yaitu selama 11,13 detik.
3. Model Saat ini pengelolaan sungai banjir kanal barat menggunakan bendung gerak yang menerapkan sistem pelampung / karet yang diatur oleh sebuah pompa untuk membuka dan menutup pintu air. Pada sistem pelampung ini jika aliran deras dan air mengalami perubahan ketinggian, pompa harus dinyalakan secara manual untuk membuka pintu air.
4. Model pintu air otomatis yang di desain pada penelitian ini yaitu model pintu air yang ditarik dengan motor servo yang bekerja secara otomatis berdasarkan input sensor yang terpasang.

5. Sistem yang dirancang dan dibangun pada kajian sistem kendali otomatis kanal pintu air berbasis logika fuzzy mamdani pada bendung gerak kanal banjir barat kota Semarang dapat diterapkan dan dapat bekerja secara otomatis pada desain prototipe yang dibuat.

5.2. Saran

Hasil dari pengujian yang dilakukan oleh penelitian masih ada beberapa faktor yang bisa dikembangkan. Pada bab ini penulis menyampaikan saran agar penelitian ini dapat dikembangkan dengan beberapa hal yaitu: Pembuatan sistem IoT yang bertujuan untuk pemantauan dari jarak jauh.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Arifin, M. Aziz Muslim, J. Matematika, and U. Negeri Semarang, “Implementasi Logika Fuzzy Mamdani untuk Mendeteksi Kerentanan Daerah Banjir di Semarang Utara,” *Scientific Journal of Informatics*, vol. 2, no. 2, pp. 2407–7658, 2015, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/sji>
- [2] A. A. Egaputra, D. H. Ismunarti, and W. S. Pranowo, “Inventarisasi Kejadian Banjir Rob Kota Semarang Periode 2012 –2020,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 4, no. 2, 2022.
- [3] T. Kusumaning and F. S. Puriningsih, “Kajian Strategi Penanganan Banjir/Rob Di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang,” *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 26, no. 11, p. 677, 2019, doi: 10.25104/warlit.v26i11.949.
- [4] Sembiring Rizky Pandapotan, Untung Sri Hardjanto, and S. A. Gading, “Pencegahan Dan Penanggulangan Banjir Dan Rob Menurut Pencegahan Dan Penanggulangan Banjir Dan Rob Menurut Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 14 Tahun 2011 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayahkota Semarang,” *Diponegoro Law Journal*, vol. 8, pp. 664–687, 2019.
- [5] D. Danang, S. Suwardi, and I. A. Hidayat, “Mitigasi Bencana Banjir dengan Sistem Informasi Monitoring dan Peringatan Dini Bencana menggunakan

- Microcontroller Arduino Berbasis IoT,” *Teknik*, vol. 40, no. 1, p. 55, 2019, doi: 10.14710/teknik.v40i1.23342.
- [6] A. W. Syafitri and A. Rochani, “Analisis Penyebab Banjir Rob di Kawasan Pesisir Studi Kasus: Jakarta Utara, Semarang Timur, Kabupaten Brebes, Pekalongan,” *Jurnal Kajian Ruang*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.30659/jkr.v1i1.19975.
- [7] A. Laila Nugraha, “Peningkatan Akurasi dan Presisi Analisa Spasial Pemodelan Banjir Kota Semarang Menggunakan Kombinasi Sistem Informasi Geografis Dan Metode Logika Fuzzy,” *TEKNIK*, vol. 39, no. 1, pp. 16–24, 2018, doi: 10.14710/teknik.v39n1.xxxxxx.
- [8] S. Yuliantika and D. Listya Kartika, “Implementasi Metode Fuzzy Mamdani sebagai Deteksi Awal Banjir Lokal di Bendung Gerak Serayu,” *SQUARE: Journal of Mathematics and Mathematics Education*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 2022, doi: 10.21580/square.2020.2.1.10783.
- [9] Z. Mahmud, N. Nikentari, and E. Suswaini, “Analisa Perbandingan Metode Sugeno Dan Mamdani Dalam Sistem Prediksi Cuaca (Studi Kasus BMKG Kelas III Tanjungpinang),” *Teknik Informatika*, pp. 1–9, 2016.
- [10] F. Ferdiansyah, “Desain Pengendalian Pintu Air Dengan Metode Ensemble Kalman Filter Dan Fuzzy Sliding Mode Control (FSMC),” 2015, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/72065>

- [11] H. W. N. M Syariffudien Zuhrie, Nur Kholis, Nurhayati, “Rancang Bangun Pintu Air Otomatis Berbasis Kontroller Logika Fuzzy,” *Jurnal Teknik Elektro Volume*, vol. 10, no. 01, pp. 211–217, 2021.
- [12] J. D. Rumagit, “Identifikasi Kerusakan Pintu Air di Daerah Irigasi Alale Kabupaten Bone Bolango,” *RADIAL-Jurnal peradaban sains, rekayasa dan teknoLogi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2019.
- [13] J. Teknologi, R. Jaringan, T. Jurnal, and T. Elektro, “Prototipe Alat Pemantauan dan Pengendalian Level Air,” vol. 1, pp. 121–128, 2021.
- [14] A. Ramadhi, F. Kehutanan, and D. A. N. Lingkungan, “Research Fellowship Pantau Gambut,” 2021.
- [15] R. Pradana and R. Irawati, “Metode Fuzzy Logic Dalam Konsep Irigasi Air Dengan Mikrokontroler Arduino,” *Jurnal Telematika Mkom*, vol. 8, no. 2, pp. 107–113, 2016.
- [16] M. Raihan, A. Hakim, R. Maulana, and H. Fitriyah, “Rancang Bangun Pengendali Pintu Gerbang Tol Dengan RFID Menggunakan Logika Fuzzy,” 2018. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [17] H. Novianto and D. Cahyono, “Sistem Pintu Air Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy,” 2016.
- [18] B. Suntaranont, S. Aramkul, M. Kaewmoracharoen, and P. Champrasert, “Water irrigation decision support system for practicalweir adjustment using

- artificial intelligence and machine learning techniques,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 5, 2020, doi: 10.3390/su12051763.
- [19] M. Hannats Hanafi Ichsan and A. Edo Prasetya, “Fuzzy Logic and Simple Additive Weighting Implementation on River Flow Controlling System,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1789, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1789/1/012006.
- [20] A. Musafa and R. Wibisono, “Integrated Water Level Control System Using Fuzzy Logic,” no. 2012, 2019, doi: 10.4108/eai.20-1-2018.2281872.
- [21] F. Azmi, I. Fawwaz, Muhathir, and N. P. Dharshinni, “Design of Water Level Detection Using Ultrasonic Sensor Based On Fuzzy Logic,” *Journal of Information Technology Education: Research*, vol. 3, no. 1, pp. 142–149, 2019, doi: 10.31289/JITE.V3I1.2668.
- [22] Y. Zhao, J. He, X. Yan, and J. Liu, “Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System to Predict Dilution Characteristics of Vertical Buoyant Jets Subjected to Lateral Confinement,” *J Mar Sci Eng*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: 10.3390/jmse10030439.
- [23] H. A. Arrahman, “RANCANG BANGUN PENGONTROL PINTU AIR MENGGUNAKAN METODE FUZZY BERDASARKAN PERUBAHAN KETINGGIAN AIR,” *Skripsi*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [24] I. Adi, G. W. Nurcahyo, and J. Santoni, “Pendeteksi Volume Air Pendeteksi Volume Air Secara Otomatis Menggunakan Fuzzy,” *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 3, no. 1, pp. 11–16, 2019, doi: 10.29207/resti.v3i1.738.

- [25] M. Farooq, A. Hussain, S. Hashim, L. Yang, and M. Ali, "Automated Irrigation System based on irrigation gates using fuzzy logic," *2020 International Conference on Internet of Things and Intelligent Applications, ITIA 2020*, no. February, 2020, doi: 10.1109/ITIA50152.2020.9312344.
- [26] A. Selmani *et al.*, "An Embedded Solar-Powered Irrigation System Based on a Cascaded Fuzzy Logic Controller," *Asian J Control*, vol. 21, no. 4, pp. 1941–1951, 2019, doi: 10.1002/asjc.2220.
- [27] I. D. Sumitra and S. Supatmi, "Mamdani Fuzzy Inference System using Three Parameters for Flood Disaster Forecasting in Bandung region," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/662/4/042008.
- [28] S. Yan, Z. Wang, L. Wu, and W. Huang, "An ecological interval two-stage fuzzy shadow price model for environmental flow allocation in the Shaying River Basin," *Hydrology Research*, vol. 53, no. 2, pp. 279–296, 2022, doi: 10.2166/nh.2021.034.
- [29] D. Zhang, J. Shen, P. Liu, Q. Zhang, and F. Sun, "Use of fuzzy analytic hierarchy process and environmental gini coefficient for allocation of regional flood drainage rights," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 6, 2020, doi: 10.3390/ijerph17062063.
- [30] M. Liu, X. Dong, and H. Guo, "Risk assessment of ice dams for water diversion projects based on fuzzy fault trees," *Appl Water Sci*, vol. 11, no. 2, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1007/s13201-020-01341-w.

- [31] L. Amador- angulo, O. Castillo, C. Peraza, and P. Ochoa, “An efficient chicken search optimization algorithm for the optimal design of fuzzy controllers,” *Axioms*, vol. 10, no. 1, 2021, doi: 10.3390/axioms10010030.
- [32] E. S. Puspita and L. Yulianti, “Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Logika Fuzzy,” *Jurnal Media Infotama*, vol. 12, no. 1, 2016, doi: 10.37676/jmi.v12i1.267.
- [33] I. Dzitac *et al.*, “Application of Fuzzy Logic Based Apparel Size Finder in Online Marketing,” *International Journal of Computers Communications & Control Issn*, vol. 12, no. 6, pp. 748–789, 2017.
- [34] H. Yang, Z. Chen, Y. Ye, G. Chen, F. Zeng, and C. Zhao, “A fuzzy logic model for early warning of algal blooms in a tidal-influenced river,” *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 21, 2021, doi: 10.3390/w13213118.
- [35] R. S. Krishnan *et al.*, “Fuzzy Logic based Smart Irrigation System using Internet of Things,” *J Clean Prod*, vol. 252, p. 119902, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119902.
- [36] S. R. Utama, A. Firdausi, and G. P. N. Hakim, “Control and Monitoring Automatic Floodgate Based on NodeMCU and IOT with Fuzzy Logic Testing,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 1, pp. 14–17, 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i1.11199.
- [37] S. B. Sudaryoto, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Ketinggian Air Bendungan Berbasis Fuzzy Logic Controller,” vol. 8, pp. 401–409, 2019.

- [38] A. Permana, D. Triyanto, and T. Rismawan, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Volume Dan Pengisian Air Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Avr Atmega8," *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi Untan*, vol. 03, no. 2, pp. 76–87, 2017.
- [39] Mho. Fikullah Habibi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Deteksi Dini Untuk Kawasan Rawan Banjir Berbasis Arduino," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 2, no. 2, pp. 190–195, 2018.
- [40] S. Sadi, "Rancang Bangun Monitoring Ketinggian Air Dan Sistem Kontrol Pada Pintu Air Berbasis Arduino Dan Sms Gateway," *Jurnal Teknik*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.31000/jt.v7i1.943.
- [41] D. Permata Sari and Y. Huda, "Rancang Bangun Sistem Irigasi Sawah Otomatis Berbasis Arduino Uno," vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.24036/elektif.v1i1.4.

