

**KAJIAN SISTEM KENDALI POMPA AIR DENGAN METODE
LOGIKA FUZZY SEBAGAI UPAYA MEMAKSIMALKAN
PENGENDALIAN BANJIR KAWASAN PELINDO III
KOTA SEMARANG**

Laporan Penelitian untuk Tesis S-2

Program Magister Teknik Elektro



Diajukan Oleh:

Riza Moh Nujumul Huda

20602000008

Kepada

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis dengan judul:

**KAJIAN SISTEM KENDALI POMPA AIR DENGAN METODE LOGIKA
FUZZY SEBAGAI UPAYA MEMAKSIMALKAN PENGENDALIAN
BANJIR KAWASAN PELINDO III KOTA**

Yang diajukan oleh

Nama : Riza Moh Nujumul Huda

NIM : 20602000008

Telah diperiksa dan disahkan,

Tanggal, 4 Maret 2024

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

(Muhammad Qomaruddin, ST., M.Sc., Ph.D) (Afief Marwanto, ST., M.Eng., Ph.D)

NIDN : 0631057101

NIDN : 628097501

Mengetahui,
Kepala Program Studi
Magister Teknik Elektro



(Prof. Dr. Hj. Sri Artani Dwi Prasetyowati, M.Si)
NIDN: 0620026501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Tesis dengan judul:

**KAJIAN SISTEM KENDALI POMPA AIR DENGAN METODE LOGIKA
FUZZY SEBAGAI UPAYA MEMAKSIMALKAN PENGENDALIAN
BANJIR KAWASAN PELINDO III KOTA**

Yang diajukan oleh




Nama : Riza Moh Nujumul Huda

NIM : 20602000008

Telah dipertahankan didepan dewan penguji pada tanggal :

Senin, 26 Februari 2024

Menyetujui,

No	PENGUJI	TTD
1	Prof. Dr. Sri Arttini Dwi Prasetyowati, M.Si	
2	Dr. Eka Nuryanto Budi Susila, S.T., M.T	
3	Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, M.T	

SURAT PENYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riza Moh Nujumul Huda
NIM : 20602000008
Judul Tesis : **KAJIAN SISTEM KENDALI POMPA AIR DENGAN
METODE LOGIKA FUZZY SEBAGAI UPAYA
MEMAKSIMALKAN PENGENDALIAN BANJIR
KAWASAN PELINDO III 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

Riza Moh Nujumul Huda



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Segala puji bagi Allah SWT atas karuniaNYA maka penullis dapat menyelesaikan penulisan laporan penelitian dengan judul “**KAJIAN SISTEM KENDALI POMPA AIR DENGAN METODE LOGIKA FUZZY SEBAGAI UPAYA MEMAKSIMALKAN PENGENDALIAN BANJIR KAWASAN PELINDO III KOTA**”.

Penyusunan tesis ini adalah merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister pada fakultas teknologi industri 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



Riza Moh Nujumul Huda

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
SURAT PENYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Pompa Air.....	8
2.2.2 Banjir Rob.....	11
2.2.3 Kolam Retensi.....	12
2.2.4 Rumah Pompa atau Stasiun Pompa.....	13
2.2.5 Logika Fuzzy.....	14
2.2.6 <i>Mean Squared Error</i> (MSE).....	18
2.2.7 Matlab.....	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Desain Penelitian	21
3.1.1. Perencanaan dan Perancangan	22
3.1.4 Pengujian dan Analisa.....	23
3.2 Model Penelitian	23
3.3 Objek Penelitian PT. PELINDO III SEMARANG.....	24
3.4 Alat dan Bahan.....	24
3.4.1 Motor Pompa.....	24
3.4.2 Arduino Uno.....	25
3.4.3 Relay.....	27
3.4.4 Sensor Ultrasonik.....	27
3.4.5 Sensor Water Level.....	29
3.5 Model Kendali Pompa dengan Logika Fuzzy.....	30
BAB IV HASIL DAN ANALISA PENELITIAN.....	39
4.1 Analisa Fuzzifikasi.....	39
4.2 Fuzzy Rules Base.....	47
4.3 Defuzzifikasi.....	55
4.4 Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno.....	57
4.5 Pengujian Sensor SRF04.....	58
4.6 Pengujian Pompa Motor.....	60
4.7 Pengujian Water Level Sensor.....	61
4.8 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem.....	61
BAB V PENUTUP.....	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67

ABSTRAK

Banjir merupakan kejadian alam yang sering kali terjadi karena dampak rusaknya lingkungan dan ekosistem di daerah dataran rendah / sekitar kawasan pantai, sungai ataupun pelabuhan. Kota Semarang bagian utara memiliki beberapa daerah yang rawan terhadap rob, karena rata-rata ketinggian muka air tanahnya tidak berbeda jauh dengan permukaan air laut. Sehingga butuh upaya mengatasi banjir/rob dengan metode yang tepat. Pemerintah telah berupaya menyiapkan berbagai cara, salah satunya pembuatan polder dan rumah pompa yang diharapkan mampu mengurangi jumlah banjir yang terjadi di PELINDO III kota Semarang. Akan tetapi kondisi dilapangan, jika terjadi hujan lebat dan kenaikan rob, air masih dapat meluber di jalan. Hal ini dikarenakan pemantauan ketinggian muka air tidak dapat dipantau secara baik. Selain itu, ketika kondisi diatas terjadi, pompa tidak bisa langsung beroperasi, butuh waktu untuk menghidupkan pompa tersebut, sehingga air terlanjur meluap. Penelitian ini mendapatkan sistem yang mampu mengendalikan pompa untuk menentukan waktu yang tepat menyedot air. Paramater kendali pompa air dengan metode fuzzy sugeno ini adalah debit air, curah hujan dan rob. Hasil pengujian diperoleh waktu pompa menyala 141,6 detik untuk menyedot air pada kolam hingga mencapai kondisi ketinggian normal. Pengujian selanjutnya 176,9 detik, dan pengujian terakhir pompa menyala 154,7 detik. Hasil pengujian secara keseluruhan dibutuhkan waktu rata-rata 157,73 detik.

Kata kunci : Logika Fuzzy, Pompa Air dan Banjir

ABSTRACT

Floods are natural events that often occur due to the impact of environmental and ecosystem damage in lowland areas/around coastal areas, rivers or ports. The northern city of Semarang has several areas that are prone to flooding, because the average groundwater level is not much different from sea level. So efforts are needed to overcome floods/tidal waves with the right methods. The government has tried to prepare various methods, one of which is the construction of polders and pump houses which are expected to reduce the number of floods that occur in PELINDO III, Semarang city. However, conditions in the field, if there is heavy rain and rising tides, water can still overflow on the road. This is because water level monitoring cannot be monitored properly. Apart from that, when the above conditions occur, the pump cannot operate immediately, it takes time to turn on the pump, so the water will already overflow. This research produces a system that is able to control the pump to determine the right time to suck up water. The water pump control parameters using the fuzzy Sugeno method are water discharge, rainfall and rob. The test results showed that the pump turned on 141.6 seconds to suck up water from the pool until it reached normal level conditions. The next test was 176.9 seconds, and the last test the pump was on 154.7 seconds. Overall test results required an average time of 157.73 seconds.

Keywords : *Fuzzy Logic, Water Pump and Flood*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan kejadian alam yang sering kali disebabkan oleh ulah manusia sebagai dampak rusaknya lingkungan dan ekosistem di daerah dataran rendah/sekitar kawasan pantai, sungai ataupun pelabuhan. Banjir di kota Semarang telah menenggelamkan banyak kawasan padat penduduk seperti di daerah Pasar Johar, kawasan kota Lama, terminal Terboyo, stasiun Tawang dan Poncol serta jalan-jalan utama dipusat kota Semarang lainnya [1].

Kota Semarang sebagai salah satu metropolitan yang memiliki wilayah pesisir di bagian utara dengan garis pantai sepanjang ± 13 km jelas sangat terkena dampak kenaikan muka laut tersebut. Adanya kenaikan muka laut tersebut juga diperparah dengan terjadinya penurunan muka tanah di wilayah pantai Semarang mencapai 2-20 cm/tahun. Penurunan tanah tersebut terjadi akibat peristiwa konsolidasi (pemampatan) dan pengambilan air bawah tanah yang berlebihan [2].

Banjir rob adalah banjir akibat muka air laut sama dengan atau bahkan melebihi tinggi elevasinya terhadap suatu daerah, sehingga pada waktu pasang terjadi genangan, baik di aliran sungai maupun pada daerah rendah. Kota Semarang bagian utara memiliki beberapa daerah yang rawan terhadap rob, karena rata-rata ketinggian muka air tanahnya tidak berbeda jauh dengan permukaan air laut. Genangan ini tidak hanya terjadi pada saat musim hujan, melainkan juga terjadi pada saat tidak turun hujan yaitu

akibat rob atau pasang air laut. Air pasang tersebut dapat menggenang akibat adanya kontak dengan daratan melalui sungai atau saluran yang bermuara ke pantai. Dimensi saluran yang tidak memadai untuk menampung debit air hujan, air buangan kota, dan air pasang yang masuk ke sungai menyebabkan air melimpah ke daratan. Genangan yang terjadi di daerah yang tidak produktif tidak menimbulkan masalah, tetapi untuk daerah yang produktif dapat menimbulkan kerugian [1].

Banjir rob disekitar Pelabuhan Indonesia PELINDO III di kota Semarang adalah masalah serius yang perlu diidentifikasi dan diatasi. Berikut adalah beberapa aspek dan faktor yang berkaitan dengan masalah banjir di wilayah tersebut: muka air laut sama dengan atau bahkan melebihi tinggi elevasinya terhadap suatu daerah, sehingga pada waktu pasang terjadi genangan, baik di aliran sungai maupun pada daerah rendah, ketinggian muka air tanahnya tidak berbeda jauh dengan permukaan air laut. Dimensi saluran yang tidak memadai untuk menampung debit air hujan, air buangan kota, dan air pasang yang masuk ke sungai menyebabkan air melimpah ke daratan, sistem pompa belum beroperasi secara otomatis, masih membutuhkan bantuan dari penjaga pompa dan itu membutuhkan waktu yang tidak sebentar.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan diatas, pemerintah telah berupaya menyelesaikan dengan pembuatan polder dan rumah pompa yang diharapkan mampu mengurangi banjir yang terjadi di PELINDO III kota Semarang. Akan tetapi kondisi dilapangan, jika terjadi hujan yang lebat dan kenaikan rob, air masih dapat meluber di jalan. Hal ini dikarenakan pemantauan

ketinggian muka air tidak dapat dipantau dengan baik. Selain itu, ketika kondisi diatas terjadi, pompa tidak bisa langsung beroperasi, butuh waktu untuk menghidupkan pompa tersebut, sehingga air terlanjur meluap [3].

Maka dari itu penelitian ini bermaksud untuk memberikan upaya solusi untuk mengatasi banjir / rob dengan sistem kendali pompa air menggunakan metode logika fuzzy yang indicator bekerjanya berdasarkan pada nilai input debit air, curah hujan dan rob. Metode logika fuzzy pada penelitian ini mampu mengoperasikan pompa air secara otomatis ketika nilai parameter input terbaca tinggi melebihi batas normal. Dengan di implementasikannya metode fuzzy dapat memaksimalkan pengendalian banjir di PELINDO III kota Semarang.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas dibutuhkan teknologi maupun metode kendali pompa air untuk mengantisipasi banjir.

1. Bagaimana metode logika fuzzy menentukan kapan waktu yang tepat untuk menyalakan dan mematikan pompa air berdasarkan keadaan yang terjadi saat itu?
2. Bagaimana pompa air dapat mendeteksi seberapa lama harus nyala dan mati?
3. Parameter apa saja yang digunakan pada logika fuzzy untuk memberikan informasi pompa air harus nyala dan mati serta bagaimana caranya?

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. Penelitian ini dituangkan pada rancang bangun pembuangan air yang digerakkan dengan menggunakan motor pompa dan sensor ultrasonik.
2. Perencanaan sistem kendali otomatis ini dipengaruhi oleh input debit air, curah hujan, dan ketinggian air rob yang di terima dari sensor ultrasonik.
3. Sistem kendali otomatis menggunakan metode logika fuzzy.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah dihasilkan sistem kendali pompa air otomatis berbasis logika fuzzy untuk mengendalikan tinggi debit air pada bendungan PELINDO III Semarang.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengimplementasikan teknologi sistem kendali otomatis pada bendungan rumah pompa PELINDO III Kota Semarang.
2. Dapat membantu mempercepat pengendalian banjir dikawasan PELINDO III kota Semarang.
3. Dengan metode logika fuzzy dapat mengoptimalkan sistem rumah pompa air pada bendungan di kawasan PELINDO III kota Semarang.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Pada 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

Pada bab ini membahas mengenai teori – teori secara umum tentang bendungan, polder, pompa, komponen – komponen elektronika, kontrol logika fuzzy dan matlab.

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan mengenai hasil perhitungan serta simulasi

BAB V: PENUTUP

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengumpulan literatur atau studi pustaka merupakan tahap awal dan penting dalam proses penelitian. Ini melibatkan pencarian, identifikasi, dan pengumpulan sumber-sumber literatur yang relevan untuk mendukung penelitian. Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan pengumpulan literatur dalam penelitian: 1. Identifikasi tema dan pertanyaan penelitian, 2. Tentukan sumber informasi, seperti: buku, artikel jurnal, laporan penelitian, tesis, konferensi dan sumber-sumber lainnya. 3. Gunakan basis data penelitian: akses basis data penelitian yang relevan dan perpustakaan digital yang relevan contohnya: *google scholar, scopus, web of science* dll.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Z. Mahmud dkk melakukan perbandingan antara metode fuzzy sugeno dengan fuzzy mamdani dalam perhitungan akurasi peramalan cuaca. Mereka menggunakan variabel tekanan udara dan laju angin. Hasil uji coba didapat dari total 90 data test, prediksi cuaca dengan menggunakan metode Sugeno memiliki 69 data tepat prediksi atau tingkat keakuratan sebesar 76,67% sedangkan prediksi cuaca dengan menggunakan metode mamdani memiliki 29 data tepat prediksi atau dari total 90 data uji atau Tingkat keakuratan sebesar 32,22% [3].

Penelitian berikutnya oleh Novianto Henry dan Cahyono Dwi yang melakukan penelitian terhadap pintu air otomatis menggunakan metode logika fuzzy sugeno. Dalam paper tersebut, peneliti menjelaskan alasan melakukan penelitian tersebut adalah untuk mendapatkan sebuah sistem yang dapat membantu memudahkan manusia dalam bekerja. Pada penelitian tersebut diperoleh hasil yang cukup baik yaitu: pada saat pengujian sistem menunjukkan tingkat *precision* 100%, *recall* sebesar 66,7% dan *accuracy* sebesar 66,7% [4]

Penelitian selanjutnya oleh N. Nasron dkk yang menerapkan metode logika fuzzy sugeno pada perancangan sistem pengendali kelembaban tanah dan suhu tanaman. Pada penelitian ini mereka menggunakan metode fuzzy sugeno dengan dua variabel yaitu kelembaban tanah dan suhu udara, berupa *output* penyiraman menggunakan pompa air dan menyalakan kipas. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode Fuzzy Sugeno cocok diterapkan untuk sistem pengendalian karena memakai fungsi *if-then* dengan tingkat keberhasilan sebesar 80% [5].

Selanjutnya penelitian dari E. S. Puspita dan L. Yulianti mengenai perancangan sisten peramalan cuaca berbasis logika fuzzy Sugeno. Penelitian tersebut menggunakan variabel yaitu kelembaban udara dan kecepatan angin. Mendapatkan hasil baik karena tingkat keakuratan yang dihasilkan diatas 60% [6].

Penelitian dari Sunardi dan Wismarini menggunakan mikrokontroler untuk penggerak pintu air dan pompa air yang berfungsi sebagai pengendali aliran air sungai ke laut. Dalam penelitian ini menggunakan metode Takagi Sugeno dengan variabel ketinggian air, dan tinggi pintu air yang menghasilkan selisih 10% antara perhitungan manual dengan pengukuran otomatis [7].

Penelitian oleh Andreas Steven, dkk yang melakukan penelitian pompa air otomatis dengan metode logika fuzzy sugeno untuk mengukur ketinggian air. Pada penelitian ini metode fuzzy sugeno dapat juga mengetahui kecepatan air yang mengalir per meni yang masuk kedalam penampungan dan menampilkan total air yang sudah ada di dalam penampungan. Metode logika fuzzy yang diterapkan pada penelitian ini mampu menunjukkan tingkat keberhasilan 96% [8].

Berdasarkan literatur yang sudah dipelajari, bahwa metode logika fuzzy sugeno dapat digunakan untuk sistem kendali otomatis, bahkan pada beberapa penelitian terdahulu metode ini mampu menunjukkan hasil yang baik sekali. Penelitian yang telah dilakukan untuk sistem kendali otomatis Sebagian besar hanya menggunakan dua variabel input. Sehingga masih bisa terjadi kemungkinan pada suatu kondisi yang tidak bisa di jalankan karena terdapat parameter yang tidak di masukan. Berdasarkan Analisa tersebut, maka penelitian ini menggunakan 3 parameter input, sehingga mampu mencakup semua kondisi yang dibutuhkan dalam sistem kendali pompa air otomatis. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah kondisi curah hujan, debit air dan rob. Dengan demikian, berdasarkan literatur penelitian terdahulu peluang kebaruan yang dapat dicapai dengan metode logika fuzzy sugeno secara nyata dan *real time* dapat di implementasikan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pompa Air

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa dengan cara

menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus [9]. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap (*suction*) dan bagian tekan (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga penggerak menjadi tenaga kinetis, dimana tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran [10], [11].

Pengertian lain pompa adalah suatu peralatan mekanik yang digerakkan oleh tenaga mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ketempat lainnya, dimana cairan tersebut hanya mengalir apabila terdapat perbedaan tekanan. Bentuk pompa ada banyak dan bermacam-macam, sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan: pemakaian, cairan yang dialirkan, material atau bahannya, prinsip kerjanya dan atau juga menurut pemakaiannya. Pada umumnya pompa diklasifikasikan berdasarkan kelompoknya yaitu: pompa tekanan statis dan pompa tekanan dinamis [13].

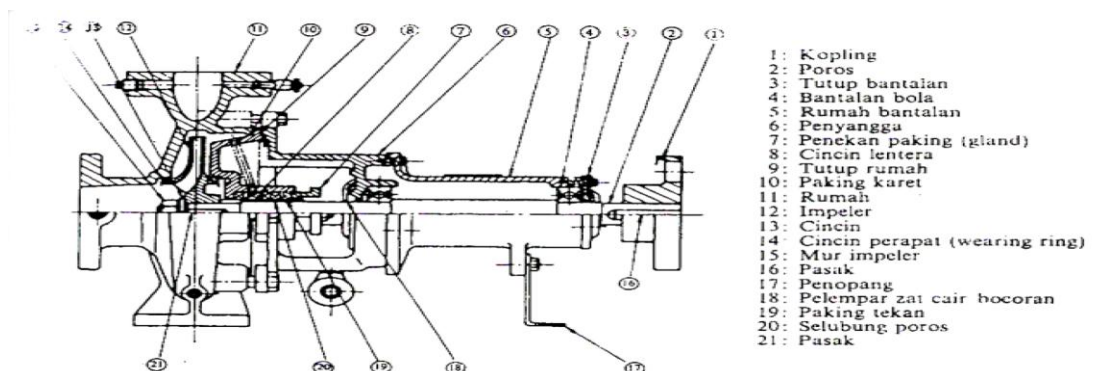
Pompa tekanan dinamis sering disebut *rotodynamic pump*, *turbo pump* atau *impler pump*. Pompa tipe ini mempunyai ciri utama yaitu: 1) mempunyai bagian utama yang berotasi berupa roda dengan sudut-sudut sekelilingnya yang sering disebut dengan impeler. 2) Melalui sudut-sudut, fluida mengalir terus-menerus, dimana fluida berada diantara sudut-sudut tersebut. Prinsip kerja pompa adalah energi mekanis dari luar diberikan pada poros untuk memutar impler. Akibatnya fluida yang berada pada impler, oleh dorongan sudut-sudut akan terlempar menuju saluran keluar. Pada proses ini fluida akan mendapat percepatan sehingga fluida tersebut mempunyai energi kinetik. Kecepatan keluar fluida ini

selanjutnya akan berkurang dan energi kinetik akan berubah menjadi energi tekanan di sudut-sudut pengarah atau dalam rumah pompa.

Pompa tekanan statis mempunyai prinsip memberikan tekanan secara periodik pada fluida yang terkandung dalam rumah pompa. Pompa jenis ini dibagi menjadi dua jenis: 1) Pompa putar dimana fluida masuk melalui sisi isap, kemudian dikurung diantara ruangan rotor dan rumah pompa, selanjutnya didorong ke ruang tengah gerak putar dari rotor, sehingga tekanan statisnya naik dan fluida akan dikeluarkan melalui sisi tekan. Contoh tipe pompa ini yaitu: *screw pump*, *gear pump* dan *vane pump*. 2) Pompa torak yaitu pompa yang mempunyai bagian utama berupa torak yang bergerak bolak-balik dalam silinder. Tipe ini adalah pompa diafragma dan pompa *plunyer* [14].



Gambar 2.1 Pompa Diafragma [13]



Gambar 2.2 Bagian Utama Pompa Tekanan Dinamis [13]



Gambar 2.3 Pompa dan Rumah Pompa PT PELINDO III [14]

2.2.2 Banjir Rob

Banjir rob adalah suatu genangan air pada bagian daratan pantai yang terjadi pada saat air laut pasang. Banjir rob merupakan bencana yang muncul berkaitan dengan siklus gerak bulan. Daerah yang sering terkena bencana ini adalah daratan pantai di daerah pesisir yang rendah atau daerah rawa-rawa pantai. Genangan air menjadi lebih besar dan meluap karena curah hujan yang tinggi, sehingga banjir terjadi dimusim hujan [2],[12].

Berbagai literatur menyebutkan banjir rob disemarang terjadi akibat dari beberapa peristiwa yaitu: 1) perubahan penggunaan lahan di wilayah pantai: lahan tambak, rawa dan sawah, yang dulu secara alami dapat menampung pasang air laut telah berubah menjadi lahan pemukiman, kawasan industri dan pemanfaatan lainnya dengan cara menguruk tambak, rawa dan sawah. Karena air laut tidak dapat tertampung lagi, sehingga banjir rob menggenangi kawasan yang lebih rendah. 2) Penurunan tanah dikawasan pantai. 3) Penurunan permukaan air tanah

sebagai akibat dari penggunaan air tanah yang berlebihan, dan *recharge* air tanah pada kawasan konservasi yang buruk.



Gambar 2.4 Akibat Banjir Rob Pelabuhan Tanjung Mas [15]



Gambar 2.5 Akibat Banjir Rob Menggenangi Jalan [15]

2.2.3 Kolam Retensi

Kolam Retensi adalah kolam/waduk penampungan air hujan dalam jangka waktu tertentu. Fungsinya untuk memotong puncak banjir yang terjadi dalam badan air/sungai. Dengan kata lain, kolam retensi merupakan suatu cekungan atau kolam yang dapat menampung atau meresapkan air didalamnya, tergantung dari jenis bahan pelapis dinding dan dasar kolam. Kolam retensi dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu kolam alami dan kolam non alami. Kolam alami yaitu kolam

retensi yang berupa cekungan atau lahan resapan yang sudah terdapat secara alami dan dapat dimanfaatkan baik pada kondisi aslinya atau dilakukan penyesuaian. Kolam non alami yaitu kolam retensi yang dibuat secara sengaja dan didesain dengan bentuk dan kapasitas tertentu pada lokasi yang telah direncanakan sebelumnya dengan lapisan bahan material yang kaku, seperti beton [13].

Air yang masuk ke dalam *inlet* pada jenis kolam ini harus dapat menampung air sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan sehingga dapat mengurangi debit banjir puncak (*peak flow*) pada saat *over flow*, sehingga kolam berfungsi sebagai tempat mengurangi debit banjir dikarenakan adanya penambahan waktu konsentrasi air untuk mengalir di permukaan.



Gambar 2.6 Kolam Retensi [13]

2.2.4 Rumah Pompa atau Stasiun Pompa

Di dalam stasiun pompa terdapat pompa yang digunakan untuk mengeluarkan air yang sudah terkumpul dalam kolam retensi atau *junction* jaringan drainase ke luar cakupan area. Prinsip dasar kerja pompa adalah menghisap air dengan menggunakan sumber tenaga, baik itu listrik

maupun diesel / solar. Air dapat dibuang langsung ke laut atau sungai/banjir kanal yang bagian hilirnya akan bermuara di laut. Biasanya pompa digunakan pada suatu daerah dengan dataran rendah atau keadaan topografi yang cukup datar sehingga saluran-saluran yang ada tidak mampu mengalir secara gravitasi. Jumlah dan kapasitas pompa yang disediakan di dalam stasiun pompa harus disesuaikan dengan volume layanan air yang harus dikeluarkan. Pompa yang menggunakan tenaga listrik disebut dengan pompa jenis sentrifugal, sedangkan pompa yang menggunakan tenaga diesel dengan bahan bakar solar adalah pompa *submersible* [13].



Gambar 2.7 Rumah Pompa atau Stasiun Pompa [13]

2.2.5 Logika Fuzzy

Logika pada dasar adalah perhubungan dengan proposisi yang memiliki dua kemungkinan yaitu 1 atau 0. Proposisi merupakan kalimat yang bisa dikatakan dalam suatu bahasa dan bisa diungkapkan [9],[13]. Logika fuzzy yaitu suatu pemikiran yang kabur atau samar. Fuzzy dapat digunakan untuk

membedakan dari satu himpunan ke himpunan yang lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak terlalu jelas.

Himpunan fuzzy adalah sebuah himpunan yang menyatakan keadaan maupun kondisi didalam suatu sistem fuzzy. Himpunan fuzzy terbentuk berdasarkan dari pernyataan yang digunakan untuk memperluas jangkauan fungsi dari karakteristik yang telah ditentukan pada bilangan *real* dengan range (0,1) [13], [14]. Fuzzy mempunyai struktur yang penting seperti *fuzzifikasi*, *inference fuzzy*, *rule base fuzzy* dan *defuzzifikasi*.

a) *Fuzzyfikasi* adalah sebuah proses yang mengubah suatu input dari bentuk tegas (*chip*) menjadi fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya ditampilkan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. *Fuzzifikasi* yaitu sebuah pemetaan dari ruang input ke himpunana fuzzy yang telah didefenisikan oleh semesta pembicaraan variabel *input* [13], [9], [15]. Beberapa fungsi kenggotaan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fungsi keanggotaan segitiga

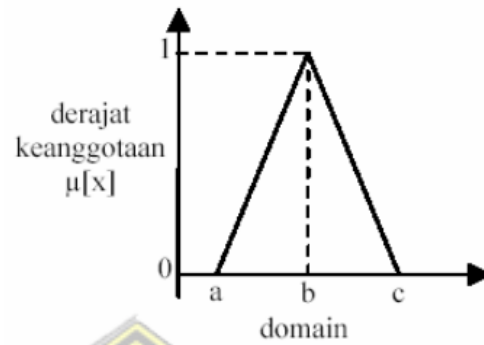
Fungsi ini diidentifikasi dengan tiga buah parameter. Rumus keanggotaan segitiga didefinisikan sebagai berikut:

Fungsi keanggotaan:

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

.....(2.1)

Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan oleh Gambar 2.8



Gambar 2.8 Fungsi Keanggotaan Segitiga[16], [17]

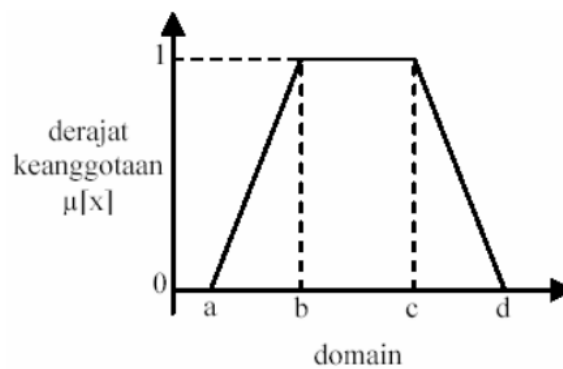
2. Fungsi keanggotaan trapesium

Fungsi ini diidentifikasi oleh empat parameter dan dirumuskan dengan fungsi:

Fungsi keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x \leq d \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan oleh Gambar 2.9



Gambar 2.9 Fungsi Keanggotaan Trapesium [16],[17].

Aturan fuzzy dinyatakan dalam kumpulan *IF-THEN* yang dimana anteseden dan konsekuennya berupa sebuah variabel linguistik. Kumpulan dari aturan fuzzy tersebut dapat merelasi *input-output* dari sebuah sistem [13],[18],[19].

b) Sistem Inferensi Fuzzy

Didalam membangun sebuah sistem fuzzy dapat diketahui dengan beberapa metode penalaran salah satunya yang digunakan yaitu Sugeno:

Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985 [13], [17],[20]. Metode sugeno ini hampir sama dengan penalaran metode mamdani, namun *output* sistem tidak berupa himpunan fuzzy, tetapi dalam bentuk konstanta atau persamaan linear. Michio Sugeno mengusulkan penggunaan *singleton* sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuen. *Singleton* ini merupakan sebuah himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan dimana pada titik tertentu mempunyai sebuah nilai dan 0 diluar titik tersebut [19],[21].

c) *Rules Base Fuzzy*

Pada *rules* (komposisi aturan) ini tidak seperti yang biasanya memakai penalaran monoton. Dimana jika suatu sistem terdiri dari beberapa aturan maka akan diperoleh inferensi dari kumpulan dan korelasi antar aturan dalam penerapan inferensi sistem fuzzy [9],[21].

Penerapan inferensi sistem fuzzy dapat dilakukan dengan tiga mode antara lain sebagai berikut :

- Metode *Max*: merupakan solusi himpunan fuzzy yang didapatkan dengan cara nilai tertinggi dari aturan fuzzy, kemudian nilai tertinggi tersebut digunakan kembali untuk memodifikasi daerah fuzzy dan dilakukannya aplikasi menggunakan operator *and* ke *output* sistem, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi setiap posisi
- Metode *Sum*: yaitu untuk mendapatkan himpunan fuzzy dengan melakukan *bounded sum* ke semua daerah fuzzy.
- Metode Prabalistik *and*: untuk mendapatkan nilai himpunan fuzzy dengan melakukan produk ke semua daerah fuzzy.

d) *Defuzzifikasi*

Defuzzifikasi merupakan input proses suatu himpunan fuzzy yang didapatkan dari komposisi aturan-aturan fuzzy. Kemudian untuk aturan fuzzy ini digunakan aturan *IF THEN* fuzzy yang mana dalam persamaan berikut [10],[20],[22].

2.2.6 *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 di periode mendatang. Metode ini biasanya digunakan untuk mengevaluasi metode

pengukuran dengan model regresi atau model seperti peramalan seperti *moving average*, *weighted moving average* dan analisis *trendline* [20],[23].

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:

$$MSE = \sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2 / n \dots\dots\dots (2.3) [20],[23].$$

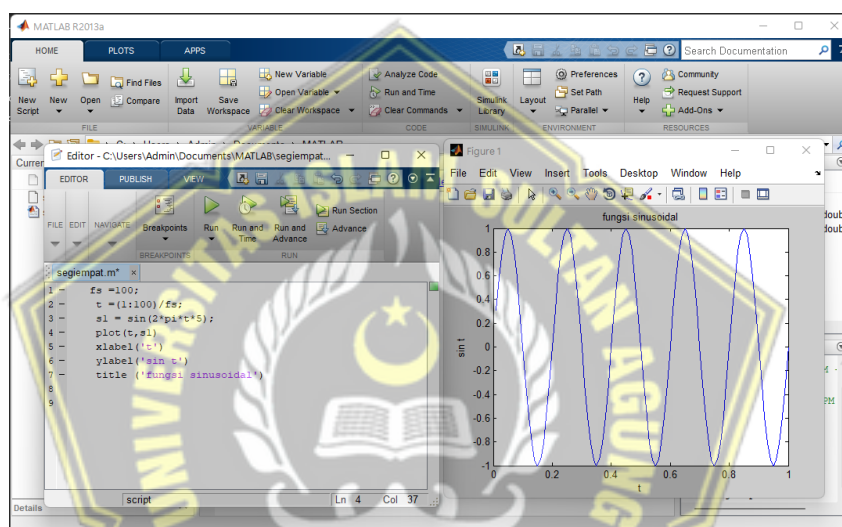
2.2.7 Matlab

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 persoalan 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 banyak *tools* yang dapat membantu berbagai disiplin ilmu, sehingga banyak industri yang menggunakan MATLAB. Pada MATLAB mempunyai banyak *library* yang dapat membantu menyelesaikan persoalan matematika seperti membuat pemodelan matematika, simulasi fungsi dan perencanaan *grafik user interface* [24].

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*. MATLAB juga dapat digunakan untuk pemrograman interpretatif untuk melakukan sejumlah instruksi secara langsung melalui *command line interface* [24].



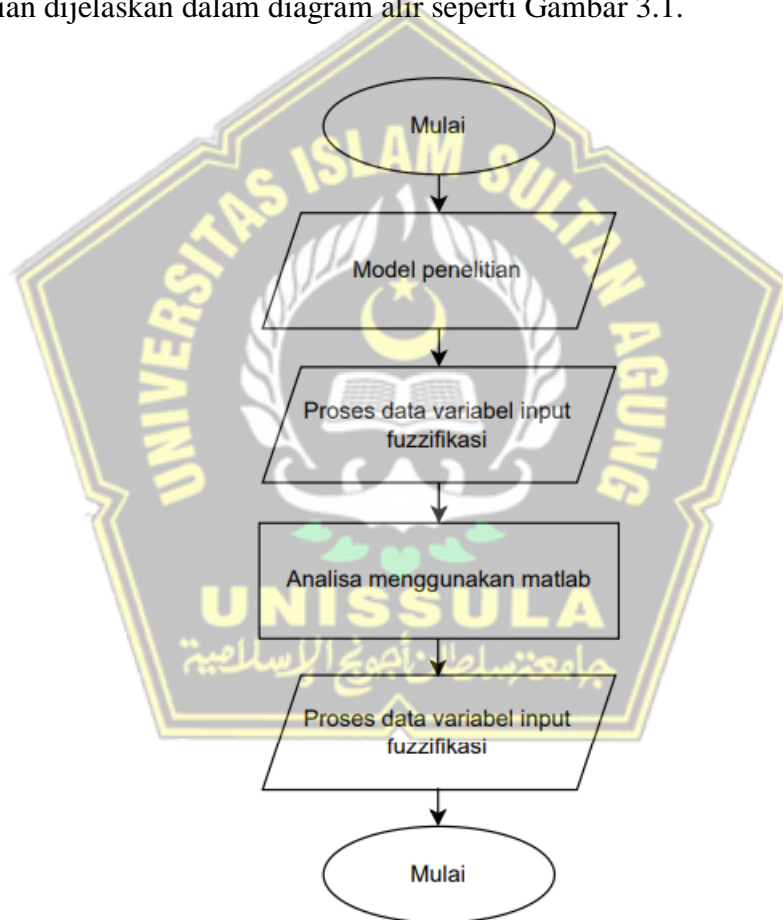
Gambar 2.10 Jendela Matlab

UNISSULA
جامعة سلطان أبوبوع الإسلامية

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Bab ini merupakan bagian penting dalam laporan penelitian ini yang secara rinci menjelaskan desain penelitian yang digunakan. Dalam bab ini, desain penelitian dijelaskan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

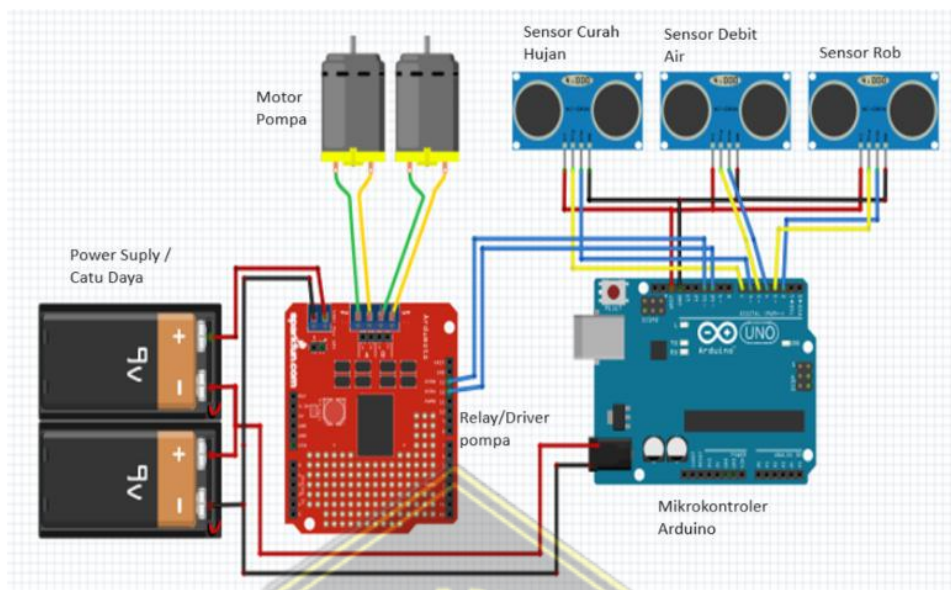
Tahap pertama yang dilakukan menurut *flowchart* diatas adalah terdiri dari variabel *input*, kemudian analisis menggunakan logika fuzzy, selanjutnya

menghasilkan *output* model. Tahap selanjutnya adalah mengumpulkan data variabel curah hujan, debit air dan rob untuk dijadikan acuan kendali. Proses selanjutnya yaitu analisis data input dengan menggunakan logika fuzzy yang terdiri dari proses fuzzyfikasi, *rule base*, *mechine inference* serta proses yang terakhir yaitu defuzzifikasi menggunakan *software* matlab. Selanjutnya langkah terakhir yaitu penarikan kesimpulan dan saran.

3.1.1. Perencanaan dan Perancangan

Penelitian pada tahap ini membuat perencanaan dan perancangan prototipe seperti apa yang ada dikondisi lapangan sebenarnya. Desain dibuat seperti kolam yang dilengkapi dengan motor pompa yang digunakan untuk menyedot/membuang air dalam kolam retasan sesuai dengan batas ketinggian yang sudah ditetapkan. Data informasi yang digunakan sebagai input pengendali pompa di peroleh dari sensor SRF04. Pada desain prototipe ini menggunakan 3 sensor sebagai *input* yang diasumsikan sebagai pendeteksi curah hujan, debit air dan ketinggian air rob. Pada arsitektur penelitian melakukan analisis data yang diperoleh dari sensor SRF04 tersebut, kemudian logika fuzzy digunakan untuk memproses data curah hujan, debit air dan rob yang dihasilkan oleh sensor sehingga kendali otomatis pompa dapat PELINDO III kota Semarang dapat bekerja maksimal.

Untuk merealisasikan prototipe, maka dirancang sebuah rangkaian sistem untuk kontrol pompa. Dibawah ini adalah sebuah rangakian keseluruhan kendali pompa air.



Gambar 3.2 Rangkaian Keseluruhan Prototipe

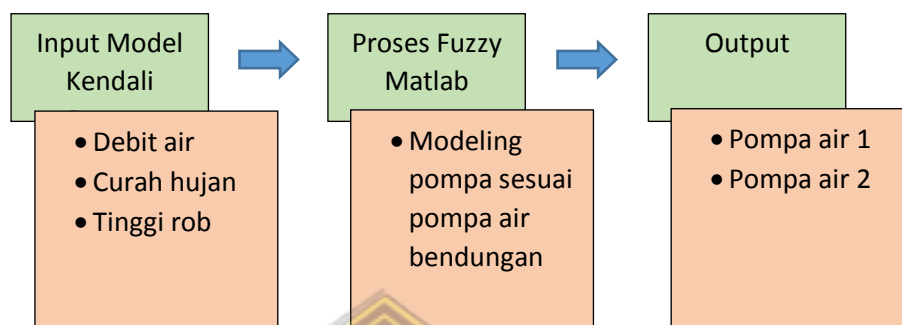
3.1.4 Pengujian dan Analisa

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah pengujian *hardware* dan *software* kemudian diakhiri dengan analisa pengujian. Pengujian *hardware* ini meliputi pengujian sensor-sensor, pengujian motor pompa, pengujian mikrokontroler Arduino serta pengujian perangkat-perangkatnya pendukung lainnya. Selanjutnya pengujian *software* meliputi desain logika fuzzy, dan program pada mikrokontroler arduino. Tahap selanjutnya setelah pengujian yaitu analisa data yang diperoleh dari hasil pengujian *hardware* maupun *software*.

3.2 Model Penelitian

Penelitian ini untuk mendapatkan sistem kendali otomatis pompa air untuk mengendalikan banjir dikawasan PELINDO III kota Semarang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode logika fuzzy dengan *input* variabel

berupa curah hujan, debit air dan rob. Untuk mempermudah dalam penelitian ini, maka dibuatlah diagram blok model penelitian seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Blok Alur Penelitian

3.3 Objek Penelitian PT. PELINDO III SEMARANG

Objek penelitian dilakukan pada prototipe yang telah di desain seperti kondisi aslinya. Desain rancang bangun ini difokuskan pada pengambilan data yang kemudian digunakan untuk *input* metode logika fuzzy. Pengambilan data ini dilakukan secara berulang ulang dengan berbagai kondisi. Data yang di terima dibuat dalam perbandingan dengan kondisi sebenarnya. Dalam penelitian ini digunakan perbandingan 10:1 untuk data asli dengan data pada rancang bangun.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Motor Pompa

Motor AC merupakan perangkat yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik, yaitu gerakan berputar. Energi mekanik dihasilkan ketika arus listrik mengalir melalui penghantar yang berada dalam medan magnet, menciptakan gaya dorong mekanik. Dalam proyek akhir ini, digunakan motor universal yang dioperasikan sebagai motor pompa [25]

Motor Pompa adalah perangkat yang berfungsi untuk mengalihkan cairan dari satu lokasi ke lokasi lain melalui saluran pipa, dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan secara berkelanjutan. Prinsip kerja pompa melibatkan pembuatan perbedaan tekanan antara bagian hisap dan bagian tekan. Perbedaan tekanan ini dihasilkan oleh mekanisme seperti putaran roda impeler, yang menciptakan keadaan hampir vakum di sisi hisap. Perbedaan tekanan ini menyebabkan penarikan cairan sehingga dapat dipindahkan dari suatu *reservoir* ke lokasi lain. Spesifikasi: Tegangan AC 220-240 V, Daya konsumsi 24 Watt, *Flow max* : 1400 L/jam, *High max* : 1,2 M[25]



Gambar 3.4 Motor Pompa [25]

3.4.2 Arduino Uno

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis chip ATmega 328P. Arduino Uno memiliki 14 digital *pin input / output* (atau biasa ditulis I/O), dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM antara lain pin 0 sampai 13), 6 pin *input* analog, menggunakan crystal 16

MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB, jack listrik, *header ICSP* dan tombol *reset*. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler [26], [27], [28]. Spesifikasi arduino uno R3 dapat dilihat pada tabel 1 dan arduino uno R3 dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino

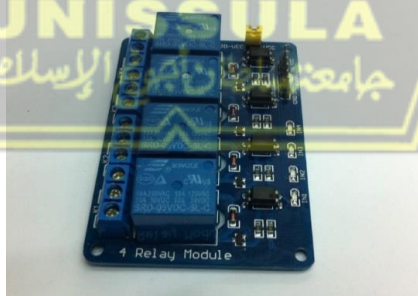
Mikrokontroler	Atmega328
Operasi Tegangan	5 Volt
Input Tegangan	7-12 Volt
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	50 mA
Arus DC ketika 3,3V	50mA
Memori flash	32 kb
SRAM	2 kb
EEPROM	1 kb
Kecepatan Clock	16 MHz



Gambar 3.5 Board Arduino Uno [25]

3.4.3 Relay

Relay adalah suatu peralatan elektronik yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan suatu rangkaian elektronik yang satu dengan rangkaian elektronik yang lainnya. Relay adalah komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis. Jika sebuah penghantar dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam ferromagnetis. Logam ferromagnetis adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut akan menjadi magnet buatan yang sifatnya sementara. Cara ini biasa digunakan untuk membuat magnet non permanen. Sifat kemagnetan pada logam ferromagnetis akan tetap ada selama pada kumparan yang melilitinya teraliri arus listrik. Sebaliknya, sifat kemagnetannya akan hilang jika suplai arus listrik ke lilitan diputuskan.[29].



Gambar 3.6 Modul *Relay* [29].

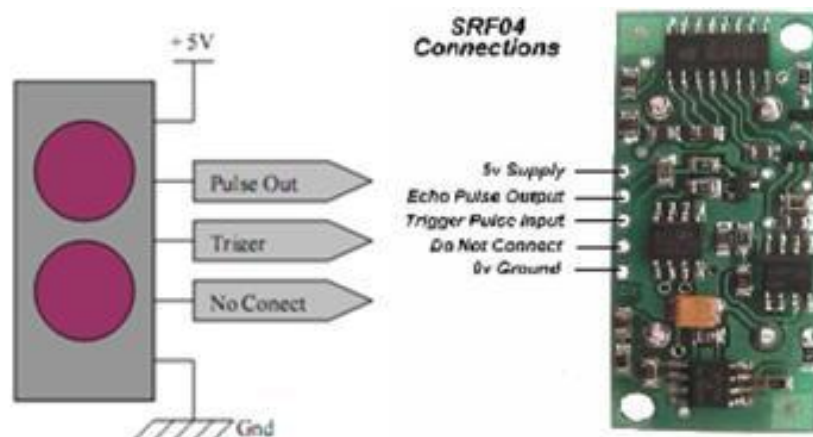
3.4.4 Sensor Ultrasonik

SRF04 merupakan sensor jarak yang memanfaatkan gelombang suara ultrasonik didalam proses pengukuran jarak suatu objek. Untuk menghubungkan antara modul arduino *board* dengan modul SRF04 diperlukan 4 pin yaitu pin VCC

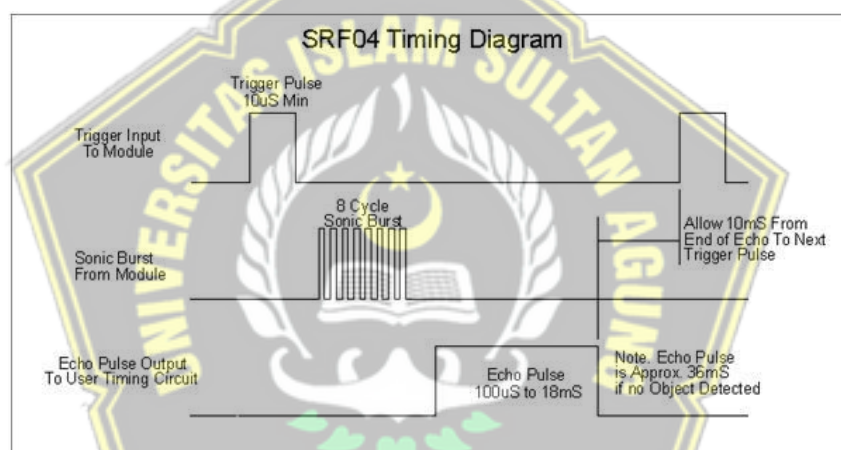
(5 volt), pin *ground*, pin *echo* serta pin *trigger*. Pin *trigger* berfungsi untuk memberikan *pulse trigger*, sedangkan pin *echo* adalah pin yang berfungsi untuk memberitahukan rentang waktu pantulan suara [27]. Gambar 3.7 adalah Sensor SRF04 dan *pin sensor*.

Cara kerja dari sensor SRF04 ini ditunjukkan berdasarkan *timing* dari *pulse* masukan dan keluaran sensor. Gambar dibawah ini menunjukkan *timing* sensor SRF04. Berdasarkan data *timing* diagram, sensor akan memberikan informasi jarak pembacaan dengan informasi berupa *pulse* PWM dengan lebar $100\mu\text{S}$ sampai dengan 18mS . Dengan 2 buah pin kontrol, antara lain sebuah pin *input trigger* dan sebuah pin output data. Untuk mengaktifkan sensor maka modul diberi *trigger pulse* maka sensor akan mengeluarkan sinyal pwm dan *duty cycle* tersebut sebagai jarak objek dengan sensor [26], [30].

Mikrokontroler memberikan sinyal *high pulse* pada pin *trigger pulse* sebagai input dari sensor untuk mengaktifkan sensor ultrasonik. Untuk menghitung lebar PWM menggunakan *timer0*. Pin *echo pulse output* terhubung dengan pin-pin pada mikrokontroler. Ketika pin *echo pulse output high* maka *timer0* aktif dan ketika pin *echo* kembali bernilai *low* maka *timer0* dimatikan dan data TCNT0 diambil sebagai data jarak [28].



Gambar 3.7 Sensor SRF04 dan *Pin* Sensor [30].



Gambar 3.8 *Timming* Sensor SRF04 [30].

3.4.5 Sensor Water Level

Water level merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi ketinggian air dengan *output* analog kemudian diolah menggunakan mikrokontroler. Kerja dari sensor tersebut adalah membaca resistansi yang dihasilkan oleh air yang mengenai lempengan yang bergaris garis pada sensor tersebut, semakin banyak air yang mengenai permukaan bergaris garis tersebut maka hambatannya semakin kecil dan ketika tidak ada air yang mengenai lempengan sensor tersebut maka hambatannya sangat besar atau bisa dikatakan tidak terhingga [31].

Oleh karena itu dalam pembacaan ketinggian air nanti akan menggunakan fungsi pembacaan analog yang ada pada arduino uno. Adapun spesifikasi dari *water level sens* adalah sebagai berikut:

- Tegangan kerja: 3-5 VDC
- Arus kerja: < 20mA
- Tipe sensor: *analog*
- *Max output*: 2.5v
- Luas area deteksi: 16x40mm
- Suhu kerja: 10-30 C
- Ukuran: 20x62x8 mm

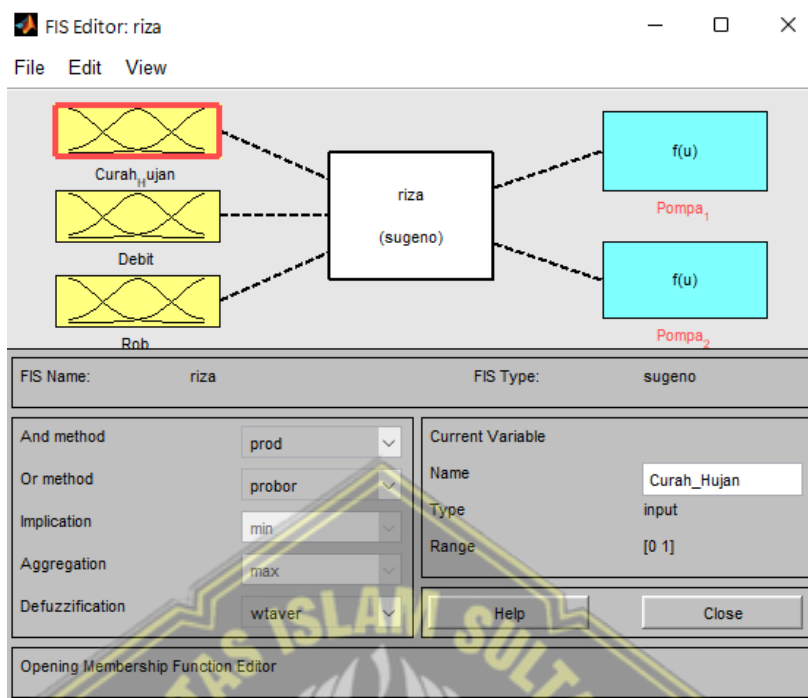


Gambar 3.9 *Water Level Sensor* [31]

3.5 Model Kendali Pompa dengan Logika Fuzzy

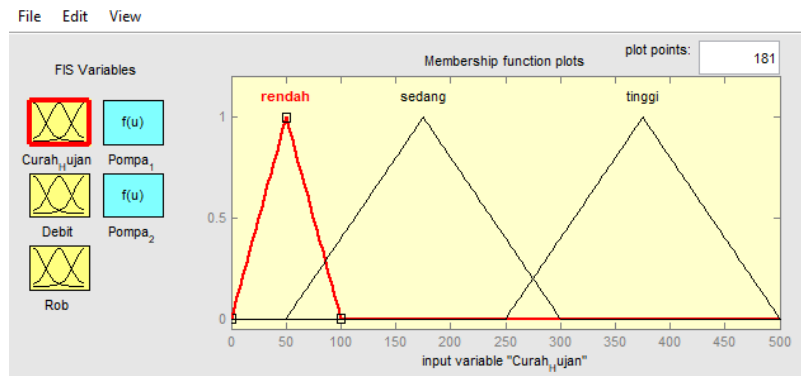
a. Fuzzyfikasi

Pada model penelitian ini variabel *input* yang dituliskan pada metode fuzzy yaitu *input* pertama adalah curah hujan, kedua adalah debit air dan yang ketiga adalah rob, sedangkan *output* terdiri dari 2 yaitu output pertama adalah pompa 1 dan *output* kedua adalah pompa 2. Untuk lebih jelas parameter fuzzyfikasi *input* dan output dapat dilihat seperti pada Gambar 3.10.



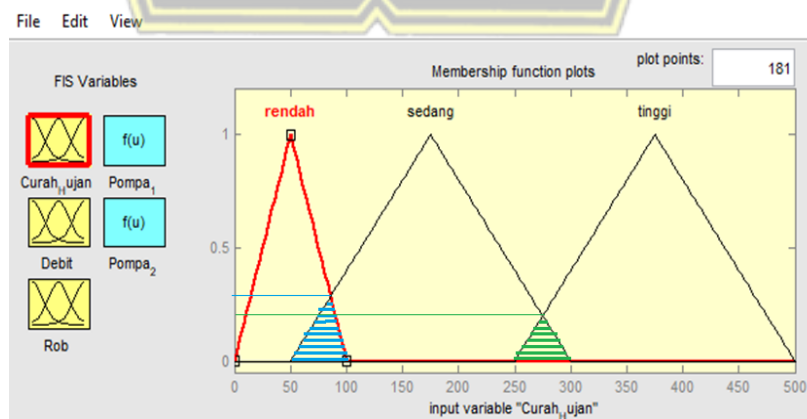
Gambar 3.10 *Fuzzy Inference System*

Fuzzyfikasi pada variabel *input* curah hujan mempunyai 3 nilai linguistik yaitu : **Rendah, Sedang** dan **Tinggi**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.11. Fungsi keanggotaan curah hujan adalah kurva yang menunjukkan titik input kedalam derajat keanggotannya yang memiliki rentang antara 0 samapi dengan 500. Untuk mendapatkan nilai dari keanggotaan tersebut agar tidak berbentuk fuzzy (kabur) dan diperlukan nilai yang pasti untuk mengolah data maka perlu menggunakan pendekatan fungsi agar dapat diolah menggunakan komputer dalam bentuk persamaan matematis.



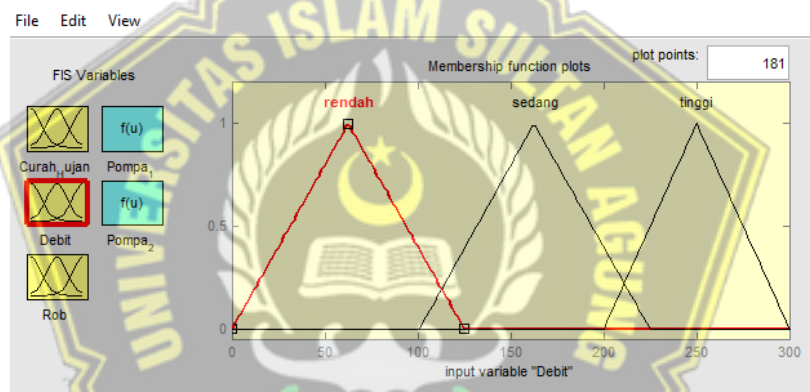
Gambar 3.11 Kurva Input Curah Hujan

Variabel fungsi keanggotaan curah hujan pada gambar 3.12 terdapat dua kondisi, Dimana sebagian nilai linguistik rendah berada di nilai linguistik sedang, kemudian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik rendah. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 50-100. Keadaan yang sama juga terjadi pada kondisi sedang dan tinggi, Dimana sebagian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik tinggi, kemudian nilai linguistik tinggi berada di nilai linguistik sedang. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 250-300. Kondisi seperti ini diartikan sebagai sebagai sebuah irisan yang diartikan sebagai berikut : X dekat dengan A dan X dekat dengan B .



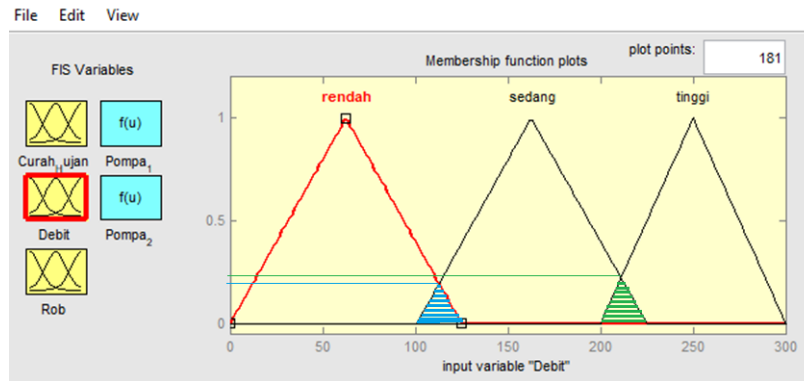
Gambar 3.12 Variabel Fungsi Keanggotaan Curah Hujan dengan Irisan

Fuzzyfikasi pada variabel *input* debit air mempunyai 3 nilai linguistik yaitu: **Rendah, Sedang** dan **Tinggi**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.13. Fungsi keanggotaan debit air adalah kurva yang menunjukkan titik *input* data kedalam derajat keanggotannya yang memiliki rentang antara 0 samapi dengan 300. Untuk mendapatkan nilai dari keanggotaan tersebut agar tidak berbentuk fuzzy (kabur) diperlukan nilai yang pasti untuk mengolah data maka perlu menggunakan pendekatan fungsi agar dapat diolah menggunakan komputer dalam bentuk persamaan matematis.



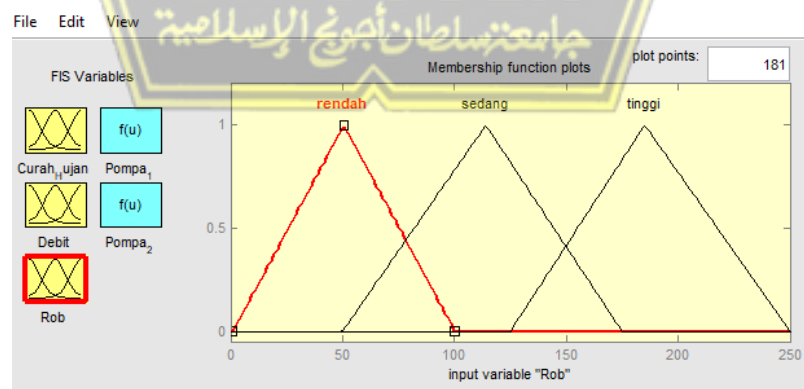
Gambar 3.13 Kurva Input Debit Air

Variabel fungsi keanggotaan debit air pada gambar 3.14 terdapat dua kondisi, Dimana sebagian nilai linguistik rendah berada di nilai linguistik sedang, kemudian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik rendah. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 100-125. Keadaan yang sama juga terjadi pada kondisi sedang dan tinggi, Dimana sebagian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik tinggi, kemudian nilai linguistik tinggi berada di nilai linguistik sedang. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 200-225. Kondisi seperti ini diartikan sebagai sebuah irisan yang diartikan sebagai berikut : X dekat dengan A dan X dekat dengan B .



Gambar 3.14 Variabel Fungsi Keanggotaan Debit Air dengan Irisan

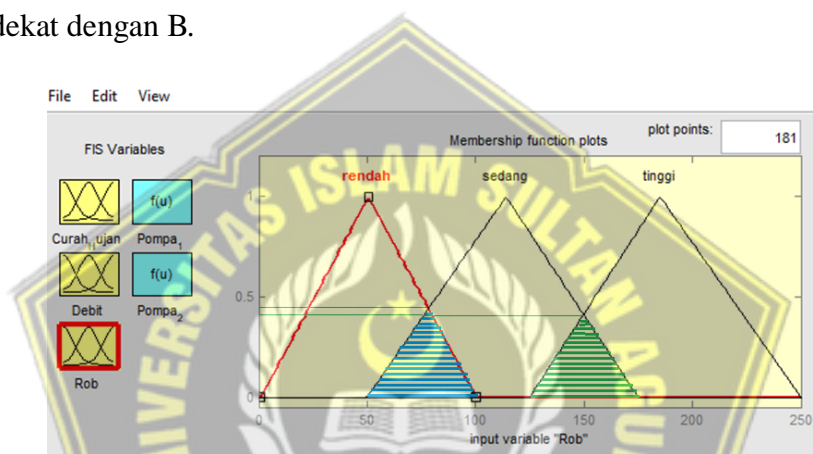
Fuzzyfikasi pada variabel *input* rob mempunyai 3 nilai linguistik yaitu : **Rendah, Sedang dan Tinggi**. Variabel *input* curah hujan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.15. Fungsi keanggotaan rob adalah kurva yang menunjukkan titik *input* data kedalam derajat keanggotannya yang memiliki rentang antara 0 samapi dengan 250. Untuk mendapatkan nilai dari keanggotaan tersebut agar tidak berbentuk fuzzy (kabur) diperlukan nilai yang pasti untuk mengolah data maka perlu menggunakan pendekatan fungsi agar dapat diolah menggunakan komputer dalam bentuk persamaan matematis.



Gambar 3.15 Kurva Input Rob

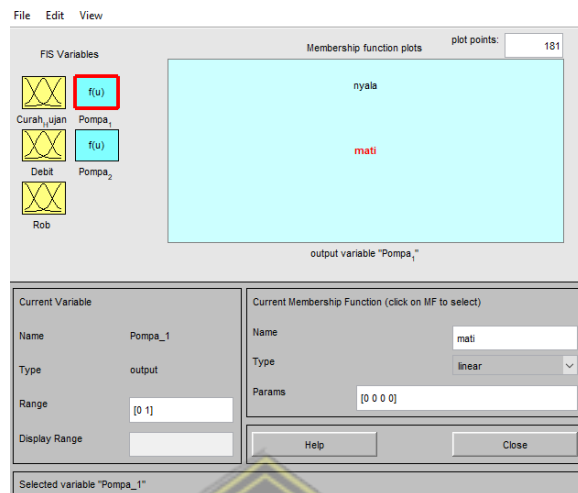
Variabel fungsi keanggotaan rob pada gambar 3.16 terdapat dua kondisi, Dimana sebagian nilai linguistik rendah berada di nilai linguistik sedang,

kemudian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik rendah. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 50-100. Keadaan yang sama juga terjadi pada kondisi sedang dan tinggi, Dimana sebagian nilai linguistik sedang berada di nilai linguistik tinggi, kemudian nilai linguistik tinggi berada di nilai linguistik sedang. Nilai linguistik tersebut berada pada rentang 125-175. Kondisi seperti ini diartikan sebagai sebagai sebuah irisan yang diartikan sebagai berikut : X dekat dengan A dan X dekat dengan B.



Gambar 3.16 Variabel Fungsi Keanggotaan Rob dengan Irisan

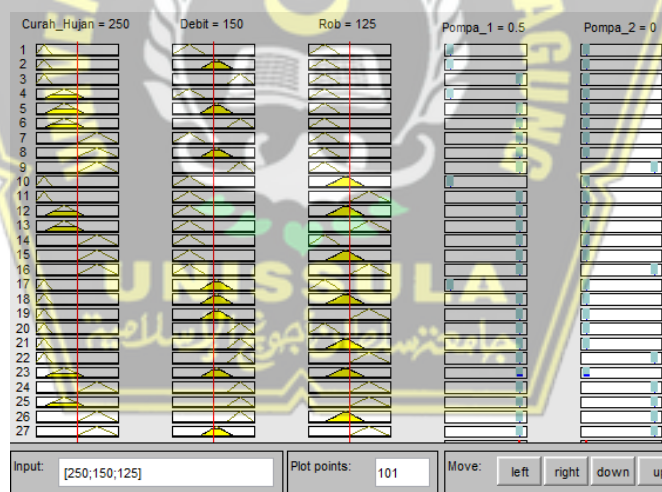
Fuzzyfikasi pada variabel *output* pompa ada 2, yaitu pompa 1 dan pompa 2. Pada *output* pompa mempunyai 2 nilai linguistik yaitu: **Mati** dan **Nyala**. Variabel *output* pompa 1 dan 2 dapat dilihat seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Kurva *Output* Pompa 1 dan Pompa 2

b. *Fuzzy Rules Base*

Rule base pembentukan pengetahuan fuzzy direpresentasikan dalam bentuk *rule* dengan pernyataan *IF -THEN* seperti pada Gambar 3.18



Gambar 3.18 *Rule Base*

Rule base dari sistem fuzzy yaitu sebagai berikut:

1. *If* (Curah_Hujan is rendah) *and* (Debit is rendah) *and* (Rob is rendah) *then* (Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati)
2. *If* (Curah_Hujan is rendah) *and* (Debit is sedang) *and* (Rob is rendah) *then* (Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati)

3. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
4. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati)*
5. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is sedang) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
6. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
7. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
8. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is sedang) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
9. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
10. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati)*
11. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
12. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
13. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
14. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
15. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
16. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
17. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*

18. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is sedang) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
19. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
20. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
21. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
22. *If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
23. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is sedang) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati)*
24. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is tinggi) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
25. *If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is tinggi) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
26. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is tinggi) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*
27. *If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is nyala)*



BAB IV

HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

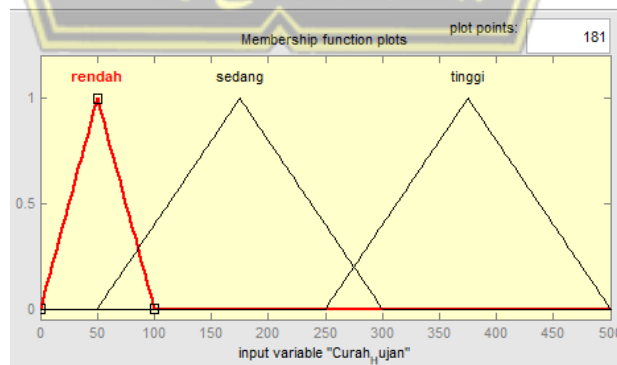
4.1 Analisa Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan pemetaan nilai *crisp* / nilai tegas kedalam variabel fuzzy set serta menentukan derajat keanggotaan didalam fuzzy *set*. Dalam analisis fuzzifikasi ada variabel *input* yaitu: curah hujan, debit air dan rob serta *output* variabel yaitu pompa1 dan pompa 2.

1. Variabel curah hujan mempunyai *range* nilai antara minimal 0 mm dan maksimal 500 mm. Variabel curah hujan dibagi menjadi tiga *input* yaitu rendah, sedang dan tinggi. Masing-masing dengan nilai *range* sebagai berikut:

Tabel 4.1 Variabel Curah Hujan

Nilai Linguistik	Range
Rendah	0 – 100 mm
Sedang	50 – 300 mm
Tinggi	250 – 500 mm



Gambar 4.1 Grafik *Input* Curah Hujan

Perhitungan tiga variabel dengan tiga fungsi, yaitu fungsi kurva segitiga untuk variabel rendah, fungsi kurva segitiga untuk variabel sedang serta fungsi kurva

segitiga untuk variabel tinggi. Selanjutnya perhitungan untuk ketiga fungsi adalah sebagai berikut:

Kurva segitiga : rendah

$$\mu \text{ curah hujan rendah } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq a \\ \frac{z - 0}{50 - 0}; & 0 \leq z \leq 50 \\ \frac{100 - z}{100 - 50}; & 50 \leq z \leq 100 \end{cases}$$

Kurva segitiga : sedang

$$\mu \text{ curah hujan sedang } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 50 \text{ atau } z \geq 300 \\ \frac{z - 50}{175 - 50}; & 50 \leq z \leq 175 \\ \frac{300 - z}{300 - 175}; & 175 \leq z \leq 300 \end{cases}$$

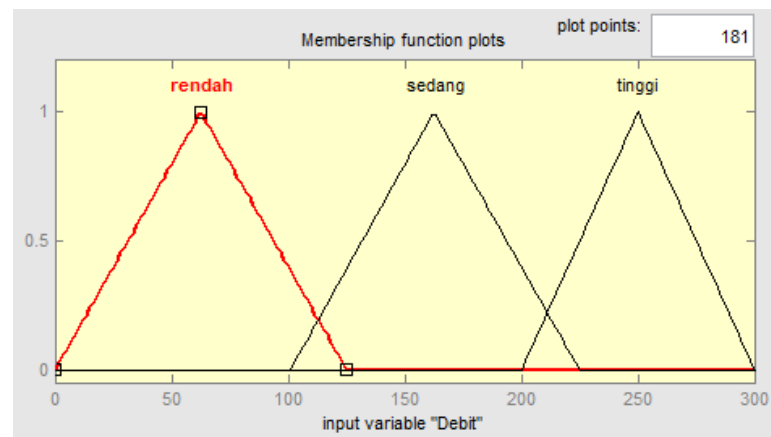
Kurva segitiga : tinggi

$$\mu \text{ curah hujan sedang } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 500 \\ \frac{z - 250}{375 - 250}; & 250 \leq z \leq 375 \\ \frac{500 - z}{500 - 375}; & 375 \leq z \leq 500 \end{cases}$$

2. Variabel debit air mempunyai *range* nilai antara minimal 0 cm dan maksimal 300 cm. Variabel debit air dibagi menjadi tiga *input* yaitu rendah, sedang dan tinggi. Masing-masing dengan nilai *range* sebagai berikut:

Tabel 4.2 Variabel Debit Air

Nilai Linguistik	<i>Range</i>
Rendah	0 – 125 cm
Sedang	100 – 225 cm
Tinggi	200 – 300 cm



Gambar 4.2 Grafik *Input Debit Air*

Perhitungan tiga variabel dengan tiga fungsi, yaitu fungsi kurva segitiga untuk variabel rendah, fungsi kurva segitiga untuk variabel sedang serta fungsi kurva segitiga untuk variabel tinggi. Selanjutnya perhitungan untuk ketiga fungsi adalah sebagai berikut:

Kurva segitiga : rendah

$$\mu \text{ debit air rendah } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 0 \\ \frac{z - 0}{62,5 - 0}; & 0 \leq z \leq 62,5 \\ \frac{125 - z}{125 - 62,5}; & 62,5 \leq z \leq 125 \end{cases}$$

kurva segitiga : sedang

$$\mu \text{ debit air sedang } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 100 \text{ atau } z \geq 225 \\ \frac{z - 100}{162,5 - 100}; & 100 \leq z \leq 162,5 \\ \frac{250 - z}{250 - 162,5}; & 162,5 \leq z \leq 225 \end{cases}$$

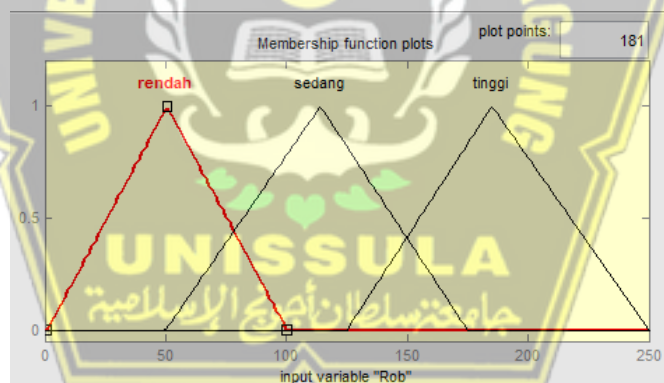
Kurva segitiga : tinggi

$$\mu \text{ debit air tinggi } [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 300 \\ \frac{z - 200}{125 - 200}; & 200 \leq z \leq 250 \\ \frac{300 - z}{300 - 250}; & 250 \leq z \leq 300 \end{cases}$$

3. Variabel rob mempunyai *range* nilai antara minimal 0 cm dan maksimal 250 cm. Variabel rob dibagi menjadi tiga *input* yaitu rendah, sedang dan tinggi. Masing-masing dengan nilai *range* sebagai berikut:

Tabel 4.3 Variabel Rob

Nilai Linguistik	Range
Rendah	0 – 100 cm
Sedang	50 – 175cm
Tinggi	125 – 250 cm



Gambar 4.3 Grafik Rob

Perhitungan tiga variabel dengan tiga fungsi, yaitu fungsi kurva segitiga untuk variabel rendah, fungsi kurva segitiga untuk variabel sedang serta fungsi kurva segitiga untuk variabel tinggi. Selanjutnya perhitungan untuk ketiga fungsi adalah sebagai berikut:

Kurva segitiga : rendah

$$\mu_{\text{rob rendah}} [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 0 \\ \frac{z-0}{50-0}; & 0 \leq z \leq 50 \\ \frac{100-z}{100-50}; & 50 \leq z \leq 100 \end{cases}$$

kurva segitiga : sedang

$$\mu_{\text{rob sedang}} [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 50 \text{ atau } z \geq 175 \\ \frac{z-50}{125-50}; & 50 \leq z \leq 125 \\ \frac{175-z}{175-125}; & 125 \leq z \leq 175 \end{cases}$$

Kurva segitiga : tinggi

$$\mu_{\text{rob tinggi}} [z] = \begin{cases} 0; & z \leq 125 \\ \frac{z-125}{175-125}; & 125 \leq z \leq 175 \\ \frac{250-z}{250-175}; & 175 \leq z \leq 250 \end{cases}$$

4. Variabel pompa 1 sebagai *output* terdiri dari 2 variabel yaitu : mati dan nyala dengan nilai *range* sebagai berikut:

Tabel 4.4 Variabel Pompa 1

Nilai Linguistik	Range
Mati	0
Nyala	0.5-1

Dengan z merupakan himpunan bilangan dengan range tertentu

5. Variabel Pompa 2 sebagai *output* terdiri dari 2 variabel yaitu : mati dan nyala dengan nilai *range* sebagai berikut:

Tabel 4.5 Variabel Pompa 2

Nilai Linguistik	Range
Mati	0
Nyala	1-2

Dengan z merupakan himpunan bilangan dengan range tertentu

Percobaan yang dilakukan ini menggunakan model perhitungan matematik.

Dimana terdapat data percobaan curah hujan sebesar 150 mm, debit air 135 cm dan rob setinggi 230 cm, maka tahap-tahap mendapatkan *output* fuzzy sugeno adalah sebagai berikut:

1. Fuzzyfikasi Curah Hujan

Penghitungan fuzzyfikasi variabel curah hujan dengan nilai 150 mm:

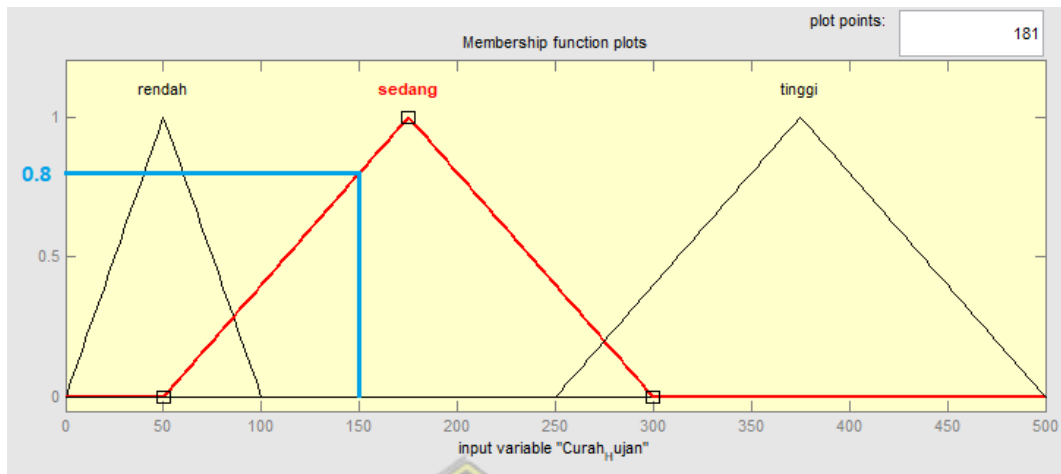
$$\mu \text{ curah hujan rendah } [0] = 0; \text{ curah hujan } \leq 50$$

$$\mu \text{ curah hujan sedang } [150] = \frac{150 - 50}{175 - 50} = 0,8; \quad 50 \leq \text{curah hujan} \leq 175$$

$$\mu \text{ curah hujan tinggi } [0] = 0; \quad 175 \leq \text{curah hujan} \leq 300$$

hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa masing-masing derajat keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu: $\mu \text{ rendah } [150] = 0$,

$$\mu \text{ sedang } [150] = 0,8, \text{ dan } \mu \text{ tinggi } [150] = 0.$$



Gambar 4.4 Fuzzifikasi Curah Hujan Sedang

2. Fuzzyfikasi Debit Air

Penghitungan fuzzyfikasi variabel debit air dengan nilai 135 cm:

μ debit air rendah [0] = 0; debit air \geq 135

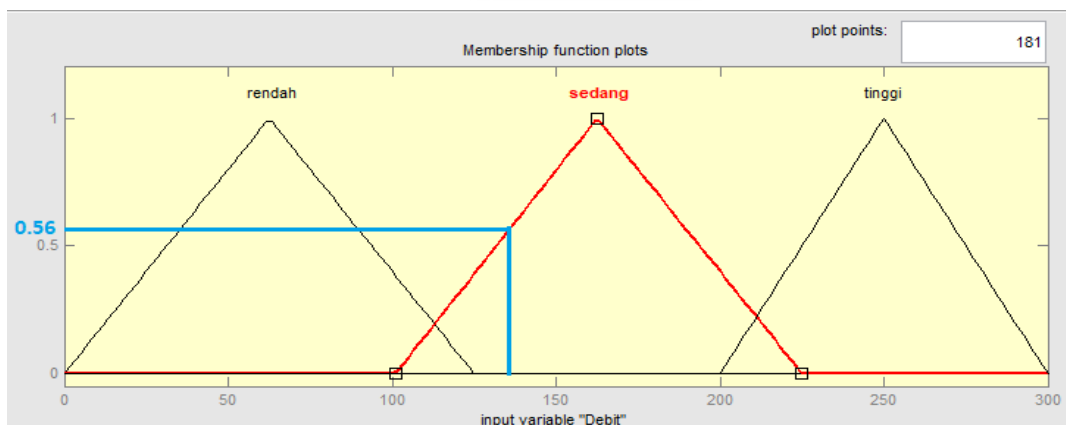
μ debit air sedang [135] = $\frac{135 - 100}{162,5 - 100} = 0,56$; $100 \leq$ debit air \leq 175

μ debit air tinggi [0] = 0; curah hujan \leq 135

perolehan perhitungan diatas dapat disimpulkan masing-masing derajat

keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu: μ rendah [135] = 0,

μ sedang [135] = 0,56, dan μ tinggi [135] = 0.



Gambar 4.5 Fuzzifikasi Debit Air Sedang

3. Fuzzyfikasi Rob

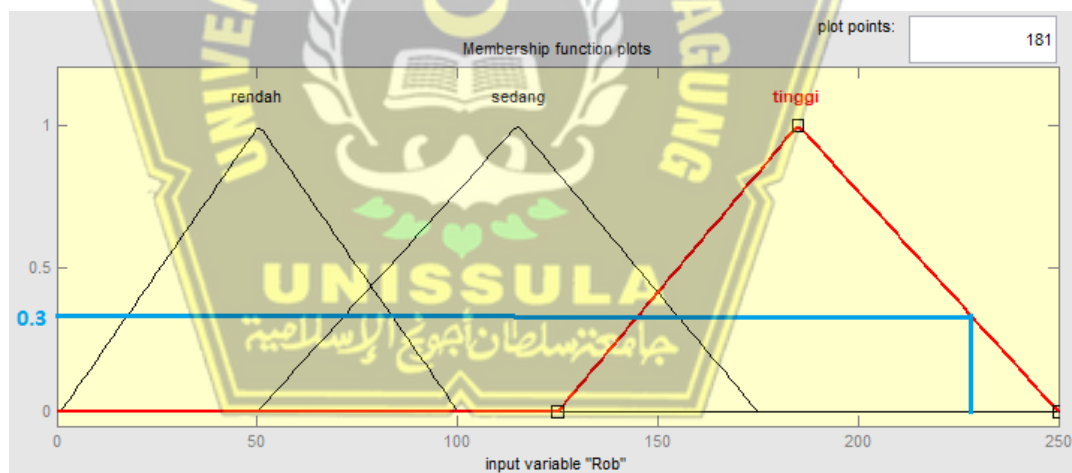
Penghitungan fuzzyfikasi variabel rob dengan nilai 230 cm:

$$\mu_{\text{rob rendah}}[0] = 0; \quad \text{rob} \leq 125$$

$$\mu_{\text{rob sedang}}[0] = 0; \quad 50 \leq \text{rob} \leq 185$$

$$\mu_{\text{rob tinggi}}[230] = \frac{250 - 230}{250 - 185} = 0,3; \quad 185 \leq \text{rob} \leq 250$$

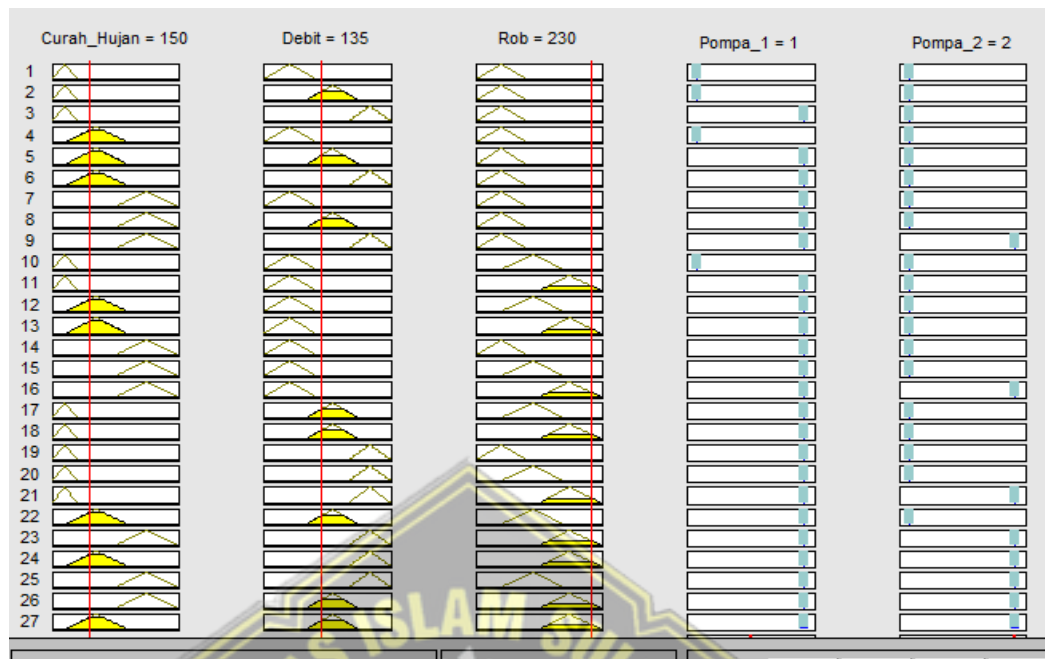
perolehan perhitungan diatas dapat disimpulkan masing-masing derajat keanggotaan tiap nilai linguistik yaitu: $\mu_{\text{rendah}}[230] = 0$, $\mu_{\text{sedang}}[230] = 0$, dan $\mu_{\text{tinggi}}[230] = 0,3$.



Gambar 4.6 Fuzzifikasi Rob Tinggi

4. Fuzzifikasi Output

Hasil perhitungan yang diperoleh dari input curah hujan 150 mm, debit air 135 cm dan rob 230 cm adalah sebagai berikut



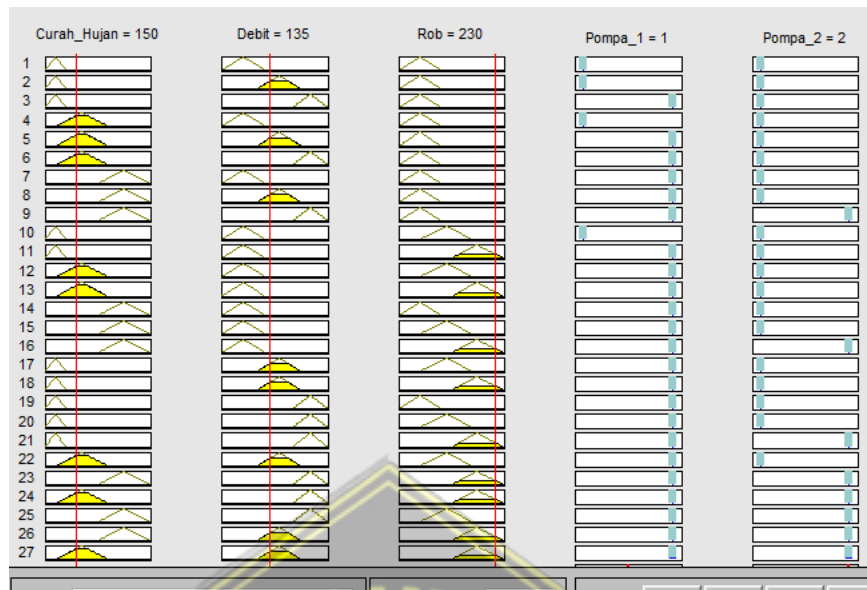
Gambar 4.7 Fuzzifikasi *Output* Simulasi Perhitungan



Gambar 4.8 Fuzzifikasi *Output* Simulasi Pompa 1 dan Pompa 2

4.2 Fuzzy Rules Base

Fuzzy rules atau aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan berjumlah 27 *rules*. Dimana *rule* ini yang digunakan untuk menentukan bagaimana perilaku pompa 1 dan pompa 2. Pada mesin inferensi ini diterapkan fungsi *min* untuk setiap aturan pada penerapan implikasi jika dalam bentuk aturan *IF – THEN*.



Gambar 4.9 Implikasi *Max- Min*

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

Rule 1

If (Curah_Hujan is rendah) *and* (Debit is rendah) *and* (Rob is rendah) *then*
(Pompa_1 is mati)(output_2 is mati) (1)

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0] \\ &= \min (0 ; 0 ; 0) \\ &= 0\end{aligned}$$

Rule 2

If (Curah_Hujan is rendah) *and* (Debit is sedang) *and* (Rob is rendah) *then*
(Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati) (1)

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0] \\ &= \min (0 ; 0,56 ; 0) \\ &= 0\end{aligned}$$

Rule 3

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_3 = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 4

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is mati)(Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_4 = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0,8 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 5

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is sedang) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_5 = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0,8 ; 0,56 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 6

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_6 = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0,8 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 7

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_7 = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 8

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is sedang) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_8 = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0,56 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 9

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_9 = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 10

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then

(Pompa_1 is mati) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{10} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 11

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{11} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 12

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then

(Pompa_1 is nyala)(Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{12} = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge$$

$$\mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0,8 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 13

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{13} = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0,8 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 14

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{14} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 15

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is sedang) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{15} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 16

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is rendah) and (Rob is tinggi) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{16} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 17

If (Curah_Hujan is sedang) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{17} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge$$

$$\mu_{\text{rob rendah}} [230]$$

$$= \min (0,4 ; 0,56 ; 0,3)$$

$$= 0,3$$

Rule 18

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is sedang) and (Rob is sedang) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{18} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0,56 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 19

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{19} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0,56 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 20

20. If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is rendah) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{20} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob rendah}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 21

If (Curah_Hujan is rendah) and (Debit is tinggi) and (Rob is sedang) then

(Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{21} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 22

22. *If* (Curah_Hujan is rendah) *and* (Debit is tinggi) *and* (Rob is tinggi) *then* (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{22} = \mu_{\text{curah hujan rendah}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 23

If (Curah_Hujan is sedang) *and* (Debit is sedang) *and* (Rob is sedang) *then* (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is mati) (1)

$$\alpha_{23} = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0,8 ; 0,56 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 24

If (Curah_Hujan is tinggi) *and* (Debit is tinggi) *and* (Rob is tinggi) *then* (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{24} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 25

If (Curah_Hujan is sedang) *and* (Debit is tinggi) *and* (Rob is tinggi) *then* (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{25} = \mu_{\text{curah hujan sedang}} [150] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob tinggi}} [230]$$

$$= \min (0,8 ; 0 ; 0,3)$$

$$= 0$$

Rule 26

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is tinggi) and (Rob is sedang) then (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{26} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0 ; 0)$$

$$= 0$$

Rule 27

If (Curah_Hujan is tinggi) and (Debit is sedang) and (Rob is tinggi) then (Pompa_1 is nyala) (Pompa_2 is nyala) (1)

$$\alpha_{27} = \mu_{\text{curah hujan tinggi}} [0] \wedge \mu_{\text{debit air sedang}} [135] \wedge \mu_{\text{rob sedang}} [0]$$

$$= \min (0 ; 0,56 ; 0)$$

$$= 0$$

4.3 Defuzzifikasi

Proses selanjutnya yaitu menentukan variabel linguistik pompa air 1 dan pompa air 2 yang merupakan keputusan dari setiap aturan yang dibuat yaitu sebagai berikut:

- Pompa air 2 memiliki nilai $z \geq 2$
- Pompa air 1 memiliki nilai $1 \geq z < 2$
- Pompa air 1 dan 2 off memiliki nilai 0

Pada proses *defuzzifikasi* ini menggunakan metode *center average defuzzifier* dikarenakan *output* keanggotaan dari beberapa proses fuzzy mempunyai bentuk

yang sama. Metode ini menggunakan pembobotan derajat keanggotaan untuk di cari nilai rata-ratanya. Berikut *defuzzifikasi* menggunakan metode *center average defuzzifier*.

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{\sum a_i z_i}{\sum a_i} \\
 &= \frac{(0 * 0) + (0 * 0) + (0 * 1) + (0 * 0) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 2)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} \\
 &= \frac{(0 * 0) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 2) + (0,3 * 2) + (0 * 1)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,3 + 0} \\
 &= \frac{(0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 1) + (0 * 2) + (0 * 1) + (0 * 2) + (0 * 2) + (0 * 2) + (0 * 2)}{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0} \\
 &= \frac{0,6}{0,3} = 2
 \end{aligned}$$

Hasil akhir yang diperoleh adalah 2, sehingga aksi yang dilakukan adalah pompa 2 nyala.

Dengan menggunakan metode *Mean Squared Error* (MSE) dapat di ketahui selisih rata-rata perhitungan yang dihasilkan. Perhitungan yang dihasilkan pada manual adalah 2, sedangkan hasil perhitungan yang dilakukan pada analisis matlab adalah 2. Sehingga, diperoleh hasil dari model kendali pompa air dengan kendali logika fuzzy sugeno dengan menggunakan *Mean Squared Error* (MSE) adalah sebagai berikut ini:

$$MSE = \frac{(2 - 2)^2}{1} = 0$$

Sehingga rata-rata nilai dengan MSE adalah 0.

4.4 Pengujian Mikrokontroler Arduino Uno

Pengujian mikrokontroler bertujuan untuk mengetahui mikrokontroler dapat bekerja atau berjalan dengan lancar, serta dapat mengeksekusi program dengan benar. Pada pengujian mikrokontroler ini menggunakan *software* Arduino IDE.



```

Behndungan2
#include <Ultrasonic.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define DR srf1()>13
#define CR srf2()>13
#define RR srf3()>20
#define DS srf1()<-13&&srf1()>=11
#define CS srf2()<-13&&srf2()>=11
#define RS srf3()<-20&&srf3()>=17
#define DT srf1()<11
#define CT srf2()<11
#define RT srf3()<17
#define pompa0 digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0)/// delay(100)
#define pompa1 digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 0)/// delay(100)
#define pompa2 digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 1)/// delay(100)
/*
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

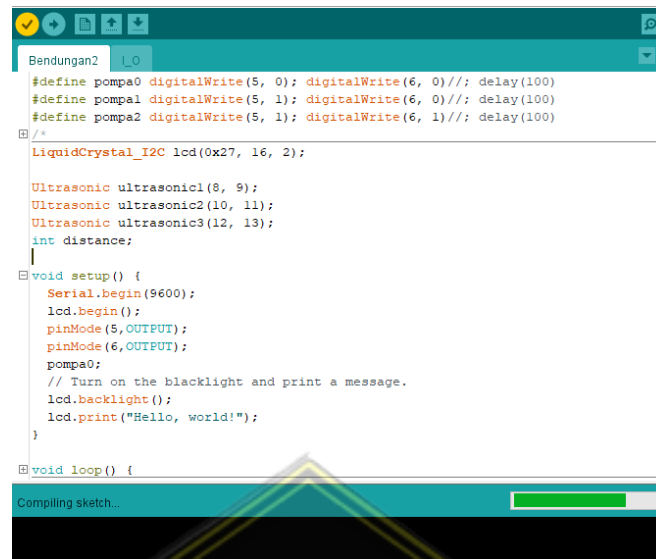
Ultrasonic ultrasonic1(8, 9);
Ultrasonic ultrasonic2(10, 11);
Ultrasonic ultrasonic3(12, 13);
int distance;

Done compiling
Sketch uses 6658 bytes (20%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 497 bytes (24%) of dynamic memory, leaving 1551 bytes for local

```

4.10 Compile Project

Proses pengujian dilakukan dengan meng-*compile* program untuk mengetahui apakah program yang sudah ditulis sesuai dengan format penulisannya. Setelah proses compile selesai, maka tahap selanjutnya yaitu mengupload program ke arduino seperti pada Gambar 4.6



```

Bendungan2  L_0
#define pompa0 digitalWrite(5, 0); digitalWrite(6, 0);//; delay(100)
#define pompa1 digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 0);//; delay(100)
#define pompa2 digitalWrite(5, 1); digitalWrite(6, 1);//; delay(100)
/*
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

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

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin();
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pompa0;
  // Turn on the backlight and print a message.
  lcd.backlight();
  lcd.print("Hello, world!");
}

void loop() {
  }
  
```

Compiling sketch...

Gambar 4.11 Upload Program

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

4.5 Pengujian Sensor SRF04

Tujuan dari pengujian sensor ini adalah untuk membaca ketinggian debit air, curah hujan dan rob dengan menggunakan *software* arduino IDE. Pada sensor SRF04 jalur komunikasi yang digunakan yaitu 2 *wire* yang telah disediakan pada Arduino IDE. Pengujian sensor dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan penggaris manual. Adapun hasil pembacaan sensor SRF04 pada tabel 4.1



Gambar 4.12 Pengujian Sensor SRF04

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa sensor SRF04 mampu untuk mengukur jarak benda yang ada di depannya dan menampilkan nilai pembacaan pada LCD.

Tabel 4.1 Pembacaan Sensor SRF04

Percobaan	Sensor HC-SRF04	Penggaris	Selisih
1	8 cm	7 cm	1
2	12 cm	10 cm	2
3	10 cm	9 cm	1
4	15 cm	13 cm	2
5	22 cm	21 cm	1
6	17 cm	16 cm	1
7	18 cm	18 cm	0
8	20 cm	18 cm	2
9	22 cm	21 cm	1
10	25 cm	24 cm	1
Rata-Rata			1.4

Kesimpulan dari hasil percobaan sensor SRF04 dan penggaris manual dapat dilihat pada tabel 4.1 diatas. Pada tabel diatas yaitu terdapat perbedaan pada pengukuran, dimana nilai pembacaan sensor SRF04 memiliki nilai pembacaan lebih besar daripada pembacaan dengan penggaris manual dengan nilai selisih rata-rata 1,4 cm.

4.6 Pengujian Pompa Motor

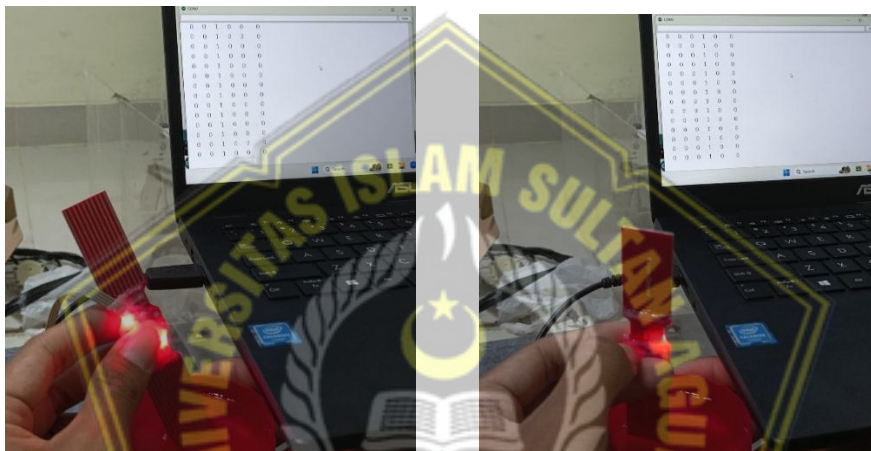
Pengujian motor pompa yang merupakan aktuator sebagai pengendali banjir untuk membuang air dari kolam retensi. Pengujian ini bertujuan mengetahui pompa motor pompa dapat bekerja sesuai dengan baik dan benar. Motor pompa harus bisa menyedot atau membuang air yang sudah penuh pada kolam retensi. Untuk mengetahui pompa dapat bekerja dengan baik, pengujian ini dipadukan dengan sensor SRF04 yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian kolam retensi. Sesuai dengan *rule base* yang dimasukan, sehingga pengujian pompa dapat bekerja dengan baik.



Gambar 4.13 Pengujian Motor Pompa

4.7 Pengujian *Water Level Sensor*

Tujuan dari pengujian sensor ini adalah untuk membaca ketinggian air dengan menggunakan *software* arduino IDE. Pada sensor *water level* jalur komunikasi yang digunakan yaitu menggunakan pin analog. Pengujian sensor dengan membandingkan nilai pembacaan sensor saat mengenai air dan sensor tanpa mengenai air. Adapun hasil pembacaan sensor pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengujian Sensor *Water Level*

4.8 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 yang berupa *input output* serta metode yang digunakan. Pengujian *hardware* meliputi pemasangan setiap komponen dan tegangan catu daya. Tujuan dari pengujian sistem ini adalah menguji keseluruhan setiap *software* dan *hardware* dalam menguji pompa air otomatis dengan melihat input debit air, curah hujan dan rob.

Pengujian dilakukan berulang-ulang dan bertahap, pengujian pertama dilakukan sebanyak 10 kali perulangan dengan kondisi input yang bervariasi.

Tabel 4.2 pengujian tahap pertama diperoleh data seperti tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Pertama Pompa Air Otomatis

No	Input			Output		Status	Waktu yang Dibutuhkan (detik)
	Curah Hujan	Debit Air	Rob	Pompa 1	Pompa 2		
1	4 cm	8 cm	3 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
2	4 cm	9 cm	6 cm	Nyala	Mati	Berhasil	53
3	17 cm	2 cm	1 cm	Nyala	Mati	Berhasil	152
4	15 cm	16 cm	5 cm	Nyala	Nyala	Berhasil	504
5	7 cm	10 cm	7 cm	Nyala	Mati	Berhasil	101
6	2 cm	14 cm	5 cm	Nyala	Mati	Berhasil	52
7	15 cm	8 cm	14 cm	Nyala	Nyala	Berhasil	453
8	1 cm	15 cm	1 cm	Nyala	Mati	Berhasil	101
9	2 cm	5 cm	3 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
10	6 cm	3 cm	2 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
Rata-Rata							141,6

Pada tabel 4.2 adalah hasil dari pengujian pertama kendali pompa air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pompa air untuk menyedot air pada kolam retensi hingga mencapai kondisi ketinggian air normal. Pengujian diatas dilakukan berulang selama 10 kali kemudian total waktu yang diperoleh dirata-rata. Pada tabel dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk membuat air menjadi normal yaitu selama 141,6 detik.

Tabel 4.3 Pengujian Kedua Pompa Air Otomatis

No	Input			Output		Status	Waktu yang Dibutuhkan (detik)
	Curah Hujan	Debit Air	Rob	Pompa 1	Pompa 2		
1	10 cm	3 cm	8 cm	Nyala	Mati	Berhasil	152
2	2 cm	3 cm	5cm	Mati	Mati	Berhasil	0
3	17 cm	2 cm	2 cm	Nyala	Mati	Berhasil	204
4	18 cm	17 cm	17 cm	Nyala	Nyala	Berhasil	601
5	5 cm	5 cm	17 cm	Nyala	Mati	Berhasil	203
6	2 cm	11 cm	15 cm	Nyala	Mati	Berhasil	302
7	3 cm	3 cm	3 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
8	2 cm	7 cm	7 cm	Nyala	Mati	Berhasil	104
9	4 cm	5 cm	2 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
10	5 cm	5 cm	17 cm	Nyala	Mati	Berhasil	203
Rata-Rata							176,9

Pada tabel 4.3 adalah hasil dari pengujian kedua kendali pompa air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pompa air untuk menyedot air pada kolam retensi hingga mencapai kondisi ketinggian air normal. Pengujian diatas dilakukan berulang selama 10 kali kemudian total waktu yang diperoleh dirata-rata. Pada tabel dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk membuat air menjadi normal yaitu selama 176,9 detik.

Tabel 4.4 Pengujian Ketiga Pompa Air Otomatis

No	Input			Output		Status	Waktu yang Dibutuhkan (detik)
	Curah Hujan	Debit Air	Rob	Pompa 1	Pompa 2		
1	5 cm	10 cm	2 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
2	13 cm	7 cm	7 cm	Nyala	Mati	Berhasil	103
3	20 cm	4 cm	6 cm	Nyala	Mati	Berhasil	349
4	15 cm	16 cm	20 cm	Nyala	Nyala	Berhasil	748
5	10 cm	10 cm	10 cm	Nyala	Mati	Berhasil	247
6	4 cm	2 cm	2 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
7	2 cm	3 cm	5 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
8	15 cm	15 cm	15 cm	Nyala	Nyala	Berhasil	100
9	8 cm	5 cm	1 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
10	9 cm	5 cm	5 cm	Mati	Mati	Berhasil	0
Rata-Rata							154,7

Pada tabel 4.4 adalah hasil dari pengujian ketiga kendali pompa air otomatis. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati ketinggian air dan mengamati waktu yang dibutuhkan pompa air untuk menyedot air pada kolam retensi hingga mencapai kondisi ketinggian air normal. Pengujian diatas dilakukan berulang selama 10 kali kemudian total waktu yang diperoleh dirata-rata. Pada tabel dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk membuat air menjadi normal yaitu selama 154,7 detik. Sehingga dapat diperoleh rata-rata waktu yang dibutuhkan pompa air untuk mengembalikan pada kondisi normal selama pengujian ini dilakukan yaitu 157,73 detik

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

hasil dari kajian dan pengujian pada sistem kendali pompa air dengan metode logika fuzzy sebagai upaya memaksimalkan pengendalian banjir kawasan PELINDO III kota Semarang diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pembacaan nilai *input* curah hujan, debit air dan rob yang diproses dengan mengkombinasi rule base, sehingga diperoleh keputusan menyalakan atau mematikan pompa air secara otomatis.
2. Pengujian yang sudah dilakukan diperoleh waktu rata-rata pompa air mampu menyedot air untuk mencapai kondisi ketinggian air normal yaitu selama 157,73 detik.
3. Parameter yang digunakan pada penelitian ini sebagai input logika fuzzy yaitu curah hujan, debit air dan rob yang tuangkan pada *rule* logika fuzzy yang menjadi dasar kendali pompa air otomatis.
4. Sistem kendali pompa air dengan metode logika fuzzy sebagai upaya memaksimalkan pengendalian banjir kawasan PELINDO III kota Semarang dapat diterapkan dan dapat bekerja secara otomatis dan *real time* pada *desain prototipe* yang dibuat.
5. Pengujian sistem kendali pompa air otomatis menggunakan arduino uno sebagai mikrokontroler dan sensor SRF04 sebagai pengukur ketinggian curah

hujan, debit air dan rob serta motor pompa air sebagai penyedot air dapat bekerja dengan baik sesuai dengan *rule base* yang ada pada metode fuzzy.

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 sistem IoT agar dipantau secara *real time* serta dari jarak jauh.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] A. Wirsatriya, A. Hartoko, and Suripin, “Kajian Kenaikan Muka Laut sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang,” *Jurnal Pasir Laut*, vol. 1, no. 2, pp. 31–42, 2006.
- [3] 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.
- [4] H. Novianto and D. Cahyono, “Sistem Pintu Air Otomatis Menggunakan Logika Fuzzy,” 2016.
- [5] N. Naron, S. Suroso, and A. R. Putri, “Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman,” *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 3, no. 4, p. 307, 2019, doi: 10.30865/mib.v3i4.1245.
- [6] 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.

- [7] Sunardi & Wismarini, "Penggunaan Metode Fuzzy Takagi-Sugeno Di Arduino Uno Untuk Pengendali Pintu Dan Pompa Air," *Jurnal Dinamika Informatika*, vol. 7, no. 1, pp. 43–51, 2015.
- [8] S. Andreas, R. Rainhard, and H. Agung, "APLIKASI POMPA AIR OTOMATIS DENGAN SENSOR LEVEL CAIRAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC SUGENO," *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, vol. 4, no. 3, 2018, doi: 10.33197/jitter.vol4.iss3.2018.166.
- [9] M. Errouha, A. Derouich, S. Motahhir, O. Zamzoum, N. El Ouanjli, and A. El Ghzizal, "Optimization and control of water pumping PV systems using fuzzy logic controller," *Energy Reports*, vol. 5, pp. 853–865, 2019, doi: 10.1016/j.egy.2019.07.001.
- [10] A. Shome and S. D. Ashok, "Fuzzy Logic Approach for Boiler Temperature & Water Level Control," *Int J Sci Eng Res*, vol. 3, no. 6, pp. 1–6, 2012.
- [11] Y. M. K. Ali, O. A. Zargelin, F. Lashhab, and A. Alaribi, "Water level control system using programmable logic controller (PLC): Rujban water supply system," *2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference, IEMTRONICS 2021 - Proceedings*, 2021, doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422619.
- [12] 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.

- [13] P. Studi *et al.*, “DESAIN PENGENDALIAN LEVEL PADA COUPLED TANK DENGAN POLE PLACEMENT - FUZZY SUGENO Oleh : ZANA AZRA,” 2021.
- [14] T. B. Santoso, A. Priambodo, and B. Panjaitan, “Analisa Komparasi Metode Mamdani Dan Sugeno Pada Fuzzy Inference Sistem Untuk Pengurangan Konsumsi Energi Listrik Pada Air Contioner,” *Seminar Nasional Inovasi Teknologi-SNITek*, pp. 274–283, 2019.
- [15] 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.
- [16] H. A. Arrahman, “RANCANG BANGUN PENGONTROL PINTU AIR MENGGUNAKAN METODE FUZZY BERDASARKAN PERUBAHAN KETINGGIAN AIR,” *Skripsi*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [17] 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.
- [18] G. G. Maulana, S. Pancono, and A. Mia, “Desain Dan Implementasi Sistem Pengendalian Otomatis Untuk Mengatur Debit Air Pada Prototipe Bendung Sebagai Pencegahan Banjir, Politeknik Manufaktur Bandung,” *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 4, no. 3, pp. 407–421, 2018.

- [19] A. Terki, A. Moussi, A. Betka, and N. Terki, "An improved efficiency of fuzzy logic control of PMBLDC for PV pumping system," *Appl Math Model*, vol. 36, no. 3, pp. 934–944, 2012, doi: 10.1016/j.apm.2011.07.042.
- [20] 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.
- [21] M. Khairudin, A. D. Hastutiningsih, T. H. T. Maryadi, and H. S. Pramono, "Water level control based fuzzy logic controller: Simulation and experimental works," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 535, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/535/1/012021.
- [22] D. L. Rahakbauw, "Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Berdasarkan Data Persediaan Dan Jumlah Permintaan," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 9, no. 2, pp. 121–134, 2015, doi: 10.30598/barekengvol9iss2pp121-134.
- [23] 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.
- [24] 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.

- [25] B. Santoso and A. D. Arfianto, "Sistem Pengganti Air Berdasarkan Kekeruhan Dan pemberi Pakan Ikan Pada Akuarium Air Tawar Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 16," *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, vol. 8, no. 2, pp. 33–48, 2014.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] S. B. Sudaryoto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Ketinggian Air Bendungan Berbasis Fuzzy Logic Controller," vol. 8, pp. 401–409, 2019.
- [29] N. Ilham, F. Islam, and U. Katu, "Rancang Bangun System Monitoring Dan," vol. 15, pp. 57–66, 2023.
- [30] J. E. M. Baquero, J. D. C. Ortega, and R. Jiménez-Moreno, "Embedded fuzzy controller for water level control," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 277–284, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i1.pp277-284.
- [31] A. S. Aviv, A. Wardayanti, E. Budiningsih, A. K. Fimani, and B. Suhardi, "Water Level Control Sistem Otomatis Sederhana pada Tandon Air di Kawasan Perumahan," *PERFORMA: Media Ilmiah Teknik Industri*, vol. 15, no. 2, pp. 130–136, 2016, doi: 10.20961/performa.15.2.9864.

