



pantau gambut



LAPORAN PENELITIAN
RESEARCH FELLOWSHIP PANTAU GAMBUT

OTOMATISASI PINTU AIR IRIGASI LAHAN GAMBUT DENGAN METODE
FUZZY INFERENCE SYSTEM TAKAGI-SUGENO

AHMAD RYAN NUR RAHMAN

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

2021

ABSTRAK

OTOMATISASI PINTU AIR IRIGASI LAHAN GAMBUT DENGAN METODE *FUZZY INFERENCE SYSTEM TAKAGI-SUGENO*

Lahan gambut yang mengalami kekeringan menjadi salah satu penyebab mudahnya lahan menjadi terbakar. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah Indonesia untuk mencegah terjadinya kebakaran lahan adalah dengan membuat pintu air irigasi yang berfungsi untuk membasahi lahan (*Rewetting*). Pada penelitian ini dikembangkan sebuah pintu air dengan kontrol otomatis dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* yang diimplementasikan pada *Microcontroller* Arduino. Dengan menggunakan dua variabel input yaitu kelembaban tanah gambut, dan suhu udara yang diinput dengan menggunakan sensor FC-28, dan DHT11 dengan masing-masing memiliki tiga himpunan *fuzzy*. Himpunan *Fuzzy* untuk variabel kelembaban tanah adalah kering, basah, dan terendam. Sedangkan untuk variabel suhu udara himpunan *fuzzy*-nya adalah dingin, normal, terik. Pada kasus ini dibuatlah sembilan rule keputusan untuk status keadaan pintu tertutup, terbuka sedang, dan terbuka lebar. Pengujian kinerja pintu air yang sudah diimplementasikan dengan *Fuzzy* menghasilkan 15 data aktual yang mencakup masing-masing 3 keadaan pintu. Data aktual tadi dibandingkan dengan hasil data pendugaan pada *software* Matlab, dan menghasilkan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* sebesar 1,07% dan nilai Akurasi ketepatan kinerja sebesar 98,93% sesuai. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Algoritma Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* dapat diimplementasikan pada sistem pintu air irigasi lahan gambut dengan akurat.

Kata kunci: Otomatisasi pintu air, Lahan gambut, Pintu air, *Rewetting*, *Fuzzy Takagi-Sugeno*, *Microcontroller*.

ABSTRACT

AUTOMATION OF PEAT LAND IRRIGATION WATER DOORS WITH THE TAKAGI-SUGENO FUZZY INFERENCE SYSTEM METHOD

Peatlands that experiencing drought, are one of the reasons why that burn easily and made land fires. One of the effort made by the Indonesian Government to prevent land fires is to build irrigation gates (sluice gates) that function to wet the land (Rewetting). In this study, a irrigation gate with automatic control was developed using the Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System algorithm which was implemented on the Arduino Microcontroller. With used two input variables, Peat Soil Moisture, and Air Temperature by sensor FC-28, and DHT11, with has three fuzzy sets each. Fuzzy sets for Soil Moisture variables are dry, wet, and submerged. For the variable Air Temperature, the fuzzy sets are cold, normal, and hot. In this case, nine decision rules were made for the closed, medium open, and wide open door status. The Irrigation gate performance test that has been implemented with Fuzzy produces 15 actual data covering each of the 3 door states. The actual data was compared with the results of the estimation data in the Matlab Software, and resulted in a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 1.07% and an accuracy value of 98,93% precise. From that results, it can be concluded that the Takagi-Sugeno Fuzzy Inference System Algorithm can be implemented in the peatland irrigation gate system accurately.

Keywords: Sluice Gate Otomatitaton, Peatland, Sluice Gate, Rewetting, Fuzzy Takagi-Sugeno, Microcontroller.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) hampir selalu terjadi setiap tahunnya. Data KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia) mencatat luas karhutla dari Januari hingga September 2019 sebesar 227.304 ha untuk lahan gambut, dan kebakaran lahan gambut di Kalimantan dengan luas lahan terbakar sebesar 135.991 ha, menjadi yang terbesar dampaknya di Indonesia, dan akan meningkat setiap tahunnya apabila tidak ditangani dengan baik. Dampak kebakaran lahan gambut sangat signifikan bagi emisi gas rumah kaca karena gambut, yang merupakan akumulasi bahan organik selama ribuan tahun, adalah salah satu penyimpan karbon tertinggi di dunia. Kebakaran gambut bisa melepaskan metana 10 kali lipat dibandingkan kebakaran jenis lahan lainnya. Secara total, dampak kebakaran lahan gambut terhadap pemanasan global bisa mencapai lebih dari 200 kali lebih besar daripada kebakaran pada jenis lahan lainnya.

Kegiatan pertanian dan perkebunan, termasuk Hutan Tanaman Industri (HTI) dan kelapa sawit memberikan kontribusi yang nyata bagi rusaknya ekosistem gambut. Dalam hal ini, reklamasi dengan sistem drainase berlebihan yang menyebabkan keringnya gambut menjadi faktor penyebab kerusakan lahan gambut yang cukup signifikan. Terganggunya keseimbangan hidrologis lahan gambut ini bisa dilihat pada bulan basah, dimana tinggi muka air gambut meningkat dan menggenangi permukaan. Sebaliknya pada bulan kering, tinggi muka air gambut menurun sehingga menyebabkan gambut menjadi kering dan mudah terbakar. Kebakaran lahan gambut berdampak pada kehilangan cadangan C (karbon), cadangan air, maupun keanekaragaman hayati pada jumlah yang relatif besar.

Adinugroho, W.C. dkk., 2004, pada bukunya “Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut” menyatakan salah satu penyebab kebakaran lahan gambut adalah karena pembuatan kanal-kanal/saluran-saluran yang umumnya digunakan untuk sarana transportasi kayu hasil tebangan maupun irigasi.

Saluran yang tidak dilengkapi pintu kontrol air yang memadai menyebabkan lari/lepasnya air dari lapisan gambut sehingga muka air tanah pada tanah gambut menjadi kering dan mudah terbakar. Dalam Peraturan Pemerintah No. 57 Tahun 2016 ditegaskan bahwa “Ekosistem Gambut dengan fungsi budidaya dinyatakan rusak apabila muka air tanah di lahan gambut lebih dari 0,4 (nol koma empat) meter di bawah permukaan gambut pada titik penaaatan”.

Maka dari itu diperlukan sebuah cara yang dapat menjaga intensitas kandungan air pada lahan gambut, yaitu sebuah sistem otomatisasi pintu air irigasi untuk mengontrol debit air pada lahan gambut menggunakan metode *Fuzzy Sugeno* pada dua variabel yaitu kelembaban tanah, dan suhu udara. Dengan mengatur debit air atau melakukan pembasahan pada lahan gambut yang terindikasi kering, maka akan didapat ekosistem gambut yang diharapkan mampu menyimpan kandungan air saat musim kemarau, sehingga resiko kebakaran lahan menjadi berkurang.

Penggunaan metode *Fuzzy Sugeno* berdasarkan kepada penelitian Zulkifli Mahmud (2016) dengan judul “Analisa Perbandingan Metode *Sugeno* Dan Mamdani Dalam Sistem Prediksi Cuaca.” Pada penelitian ini digunakan 5 variabel input yaitu suhu, tekanan, kelembaban, kecepatan angin dan intensitas penyinaran matahari. Dari 90 data yang digunakan sebagai data *test* diperoleh hasil prediksi cuaca menggunakan metode *Sugeno* menghasilkan data tepat sebanyak 69 data atau tingkat keakuratan sebesar 76,67% yang mana lebih besar dari metode *Mamdani*. Selain itu penggunaan *Fuzzy Sugeno* dalam penerapannya pada *microcontroller*¹ juga lebih simple, hal ini didasari pada jurnal yang ditulis oleh Farmadi (2017). Penggunaan *Fuzzy Sugeno* dalam pengambilan keputusan lebih efisien dalam penulisan *source code* pada *Microcontroller* Arduino yang memiliki keterbatasan memori yang kecil.

Variabel kelembaban tanah dan suhu udara yang digunakan sebagai dasar sensor didasari pada 5 faktor cuaca yang memengaruhi perilaku api, yaitu angin, suhu udara, kadar air, kelembaban relatif, dan curah hujan, yang diambil dari buku

¹ *Integrated Circuit* atau sirkuit elektronik yang dirancang untuk mengatur operasi pada sistem

“Pemahaman dan Solusi Masalah Kebakaran Hutan di Indonesia” oleh Akbar, 2016. Lalu ada jurnal “*Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin*” oleh Feng, 2015 yang menyatakan bahwa suhu udara sangat berkontribusi dalam mempengaruhi keadaan kelembaban tanah dibandingkan dengan curah hujan, sehingga diambil dua variabel yaitu kelembaban tanah, dan suhu udara.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu berapa besar akurasi metode *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* dalam otomatisasi pintu irigasi untuk mengatur tinggi muka air tanah ideal lahan gambut.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan semestinya sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dan tetap berada pada ruang lingkupnya, berikut ini adalah batasan masalah pada penelitian ini:

1. Data kelembaban tanah gambut diambil pada bagian sistem perakaran pakis (tanah permukaan atas gambut) yang terendam muka air tanah.
2. Himpunan *Range* didapat dari pakar kebakaran hutan dan lahan gambut.
3. Himpunan *Fuzzy* untuk kelembaban tanah ada 3 yaitu kering, basah, dan terendam.
4. Himpunan *Fuzzy* untuk suhu udara ada 3 yaitu dingin, normal, terik.
5. Sistem berupa *prototype* pintu air otomatis.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini yaitu mengetahui seberapa besar tingkat akurasi yang dihasilkan metode *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* dalam otomatisasi pintu irigasi untuk mengatur tinggi muka air ideal lahan gambut.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan sistem otomatisasi pintu irigasi lahan gambut yang bisa digunakan untuk kepentingan restorasi, *rewetting* (pembasahan), atau sebagai pintu kanal untuk hutan tanaman industri.
2. Memberikan pengetahuan tentang akurasi metode *Fuzzy Inference System* Takagi-Sugeno dalam otomatisasi pintu irigasi untuk mengatur tinggi muka air tanah ideal lahan gambut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Terdahulu

Kajian terdahulu adalah kajian atau literatur terdahulu yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian, dan bertujuan untuk menentukan posisi dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan. Kajian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini yaitu:

1. Penelitian dari Sunardi, dkk (2015) menggunakan arduino uno sebagai *microcontroller* untuk penggerak pintu air dan pompa air yang berfungsi sebagai pengendali aliran air sungai ke laut. Mereka menggunakan metode Takagi-Sugeno dengan variabel ketinggian air, dan tinggi pintu air yang menghasilkan selisih 10% antara perhitungan manual dengan pengukuran automatic.
2. Penelitian dari Mahmud, dkk (2016) melakukan perbandingan antara metode *Fuzzy Sugeno* dengan *Fuzzy Mamdani* dalam perhitungan akurasi peramalan cuaca. Mereka menggunakan 5 variabel yaitu suhu udara, tekanan udara, laju angin, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari. 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 dari Farmadi, A (2017) mengenai pembuatan sistem *Fuzzy Logic* tertanam pada *microcontroller* untuk penyiraman tanaman pada rumah kaca. Menggunakan dua variabel suhu udara dan kelembaban tanah dengan output berupa motor penyiraman, menghasilkan 9 *rules*² yang membuat mesin *microcontroller* berfungsi secara otomatis.

² Aturan-aturan yang menjadi dasar pengetahuan program

4. Penelitian dari Nasron, dkk (2019) melakukan perancangan sistem pengendali kelembaban tanah dan suhu tanaman menggunakan *fuzzy*. 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. Penelitian dari Puspita, dkk (2016) mengenai perancangan sisten peramalan cuaca berbasis logika *Fuzzy Sugeno*. Mereka menggunakan 5 variabel yaitu suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, curah hujan, dan tingkat kecerahan. Mendapatkan hasil sangat baik karena tingkat keakuratan yang dihasilkan diatas 60%.
6. Penelitian dari Pradana, dkk (2016) 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 didapat 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.
7. Penelitian dari Sobran, dkk (2018) mengenai perancangan sistem tangki air berbasis Arduino dengan Metode *Sugeno* mendapatkan hasil bahwa tanpa pengontrol logika *fuzzy*, sistem tangki air menunjukkan waktu pengendapan pada 229 detik dengan riak 17,72 cm hingga 18,16 cm sedangkan dengan pengontrol logika *fuzzy*, waktu pengendapan dimulai pada 59 detik dengan riak antara 18,4 cm hingga 20,05 cm. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa *Fuzzy Sugeno* dapat mengurangi beban komputasi dan mampu menghasilkan respon lebih cepat..
8. Penelitian dari Feng, (2015) yang menyelidiki egek gabungan dari faktor iklim yaitu, curah hujan dan suhu udara terhadap kelembaban tanah. Hasilnya

menunjukkan bahwa efek suhu udara lebih berkontribusi terhadap kelembaban tanah dibanding curah hujan.

9. Akbar, A (2016) pada bukunya “Pemahaman dan Solusi Masalah Kebakaran Hutan di Indonesia” pada manajemen kebakaran terdapat aspek pencegahan yang berisi mengenai deteksi dini kebakaran menggunakan kanal dan pintu air.
10. Adinugroho, dkk. (2004) pada bukunya “Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut” menyatakan salah satu penyebab kebakaran lahan gambut adalah karena pembuatan kanal-kanal/saluran-saluran di lahan gambut. Saluran-saluran ini umumnya digunakan untuk sarana transportasi kayu hasil tebangan maupun irigasi. Saluran yang tidak dilengkapi pintu kontrol air yang memadai menyebabkan lari/lepasnya air dari lapisan gambut sehingga muka air tanah pada tanah gambut menjadi kering dan mudah terbakar.
11. Penelitian dari Alfarisyi, dkk (2020) tentang analisisnya menggunakan Analisis Fluktuasi Muka Air Tanah mengenai pembasahan lahan gambut dengan menggunakan pintu kanal menghasilkan kesimpulan bahwa sekat kanal mampu memberikan dampak atau pengaruh dalam menaikkan muka air tanah sebagai upaya pembasahan lahan gambut.

Pada penelitian ini akan dilakukan pencarian akurasi pada sistem pintu irigasi otomatis dengan menghitung hasil Defuzzifikasi pada sistem pintu air, dengan nilai Defuzzifikasi pada Matlab. Dengan dua Variabel Input yaitu Kelembaban Tanah, dan Suhu Udara, dan satu Variabel Output yaitu Pintu Air. Masing-masing variabel akan memiliki 3 nilai. Penelitian ini akan menggunakan metode *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* yang akan diimplementasikan pada *Microcontroller Arduino*.

2.2 Keaslian Penelitian

Kedua tabel ini akan menunjukkan perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 1 Keaslian Penelitian

No.	Peneliti	Judul	Metode	Variabel Data	Hasil
1	Nur Maisarah Mohd Sobran, dkk (2018)	<i>Fuzzy Takagi-Sugeno Method in Microcontroller Based Water Tank System</i>	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Kesalahan ketinggian air, dan laju perubahan ketinggian air.	Menunjukkan kinerja lebih rendah 100 detik dan memperkuat pernyataan bahwa Takagi-Sugeno akan mengurangi beban komputasi dan menghasilkan respon yang lebih cepat.
2	Nasron, dkk (2019)	Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Kelembaban tanah tanaman pot, dan suhu udara	Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode <i>Fuzzy Sugeno</i> cocok diterapkan untuk sistem pengendalian karena memakai fungsi <i>if-then</i> dengan tingkat keberhasilan sebesar 80%.
3	Sunardi, dkk (2015)	Penggunaan Metode Fuzzy Takagi Sugeno Di Arduino Uno Untuk Pengendali Pintu Dan Pompa Air	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Ketinggian air, dan tinggi pintu air	ketinggian air, dan tinggi pintu air yang menghasilkan selisih 10% antara perhitungan manual dengan pengukuran otomatis.
4	Farmadi, A (2017)	Sistem Fuzzy Logic Tertanam pada Microcontroller untuk Penyiraman Tanaman pada Rumah Kaca	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Suhu udara, kelembaban tanah	Sistem fuzzy memberikan sebuah mesin cerdas yang dapat memberikan keputusan penyiraman tanaman.
5	Zulkifli Mahmud, dkk (2016)	Analisa Perbandingan Metode Sugeno Dan Mamdani Dalam Sistem Prediksi Cuaca (Studi Kasus BMKG Kelas III Tanjungpinang)	<i>Fuzzy Sugeno</i> dan Mamdani	Suhu udara, tekanan udara, laju angin, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari	Hasil uji coba didapat metode Sugeno memiliki tingkat keakuratan sebesar 76,67% dan metode Mamdani memiliki tingkat keakuratan sebesar 32,22%.
6	Ema Sastri Puspita,	Perancangan Sistem Peramalan Cuaca	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Suhu udara, kelembaban udara, kecepatan	Mendapatkan hasil sangat baik karena

	dkk (2016)	Berbasis Logika <i>Fuzzy</i>		angin, curah hujan, dan tingkat kecerahan.	tingkat keakuratan yang dihasilkan diatas 60%.
7	Rizky Pradana, dkk (2016)	Metode <i>Fuzzy Logic</i> Dalam Konsep Irigasi Air Dengan <i>Microcontroller</i> Arduino	<i>Fuzzy Mamdani</i>	Kelembaban tanah dan intensitas cahaya	Hasilnya nilai efisiensi yang lebih baik dengan perolehan antara model otomatis dengan manual yaitu 20% banding 80%.

Tabel 2 Perancangan Penelitian

No.	Peneliti	Judul	Metode	Variabel Data	Hasil
1	Ahmad Ryan Nur Rahman	Otomatisasi Pintu Air Irigasi Lahan Gambut Dengan Metode <i>Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno</i>	<i>Fuzzy Sugeno</i>	Kelembaban tanah gambut, dan suhu udara	Penerapan metode <i>Fuzzy Sugeno</i> pada otomatisasi pengaturan pintu air untuk muka air tanah ideal lahan gambut.

2.3 Lahan Gambut

Gambut terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tanaman, baik yang sudah lapuk maupun belum. Beberapa studi memperkirakan pembentukan gambut didunia terjadi antara 10.000-5.000 tahun yang lalu (pada periode *Holocene*) dan gambut di Indonesia terjadi antara 6.800-4.200 tahun yang lalu. Lahan gambut di Indonesia terdapat di dataran rendah dan dataran tinggi. Pada umumnya, lahan rawa gambut di dataran rendah terdapat di kawasan rawa pasang surut dan rawa pelebahan, terletak di antara dua sungai besar pada fisiografi/*landform* rawa belakang sungai (*backswamp*), rawa belakang pantai (*swalle*), dataran pelebahan (*closed basin*), dan dataran pantai (*coastal plain*). Lahan rawa gambut di dataran tinggi umumnya terdapat di cekungan (*closed basin*) seperti yang terdapat di Rawa Pening (Jawa Tengah), Padang Sidempuan (Sumatera Utara), dan Danau Sentarum, Kapuas Hulu (Kalimantan Barat). Sebagian besar lahan rawa gambut terdapat di dataran rendah dan hanya sebagian kecil yang terdapat di dataran tinggi (Renstra BRG, 2016).

Berdasarkan buku Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut, 2004, gambut mempunyai kemampuan dalam menyerap air sangat besar, karena itu, meskipun tanah di bagian atasnya sudah kering, di bagian bawahnya

tetap lembab dan bahkan relatif masih basah karena mengandung air. Sehingga sebagai bahan bakar bawah permukaan ia memiliki kadar air yang lebih tinggi daripada bahan bakar permukaan (serasah, ranting, *log*) dan bahan bakar atas (tajuk pohon, lumut, epifit). Saat musim kemarau, permukaan tanah gambut cepat sekali kering dan mudah terbakar, dan api di permukaan ini dapat merambat kelapisan bagian bawah/dalam yang relatif lembab. Oleh karenanya, ketika terbakar, kobaran api tersebut akan bercampur dengan uap air di dalam gambut dan menghasilkan asap yang sangat banyak.

Lahan gambut tropis memiliki keragaman sifat fisik dan kimia yang besar, baik secara spasial maupun vertikal. Karakteristiknya sangat ditentukan oleh ketebalan gambut, substratum atau tanah mineral dibawah gambut, kematangan, dan ada tidaknya pengayaan dari luapan sungai disekitarnya. Karakteristik lahan seyogianya dijadikan acuan arah pemanfaatan lahan gambut untuk mencapai produktivitas yang tinggi dan berkelanjutan. Sesuai dengan Keppres No. 32/1990 gambut dengan ketebalan >3 m diperuntukkan kawasan konservasi. Hal ini disebabkan makin tebal lapisan gambut, maka gambut tersebut semakin rapuh (*fragile*). Dengan mempertahankannya sebagai kawasan konservasi, maka fungsinya sebagai penyangga hidrologi tetap terjaga. Gambut dengan kedalaman < 3 m dapat dimanfaatkan untuk pertanian dengan syarat lapisan mineral dibawah gambut bukan pasir kuarsa atau liat berpirit, dan tingkat kematangan bukan fibrik. Lebih lanjut Departemen Pertanian merekomendasikan untuk tanaman pangan dan hortikultura diarahkan pada gambut dangkal (< 100 cm), dan untuk tanaman tahunan pada gambut dengan ketebalan 2–3 m (Sabiham, 2008). Dasar pertimbangannya adalah, gambut dangkal memiliki tingkat kesuburan *relative* lebih tinggi dan risiko lingkungan lebih rendah dibandingkan gambut dalam.

Dalam keadaan hutan alami yang tidak terganggu, lahan gambut merupakan penyerap (*Sink*) CO₂, menurut Agus (2008), simpanan karbon terbesar pada lahan gambut adalah pada gambut itu sendiri dan yang kedua adalah pada jaringan tanaman dan pada serasah. Masing-masing simpanan karbon tersebut dapat bertambah atau berkurang tergantung pada faktor alam dan campur tangan manusia. Kemarau panjang berakibat pada penurunan muka air tanah yang selanjutnya

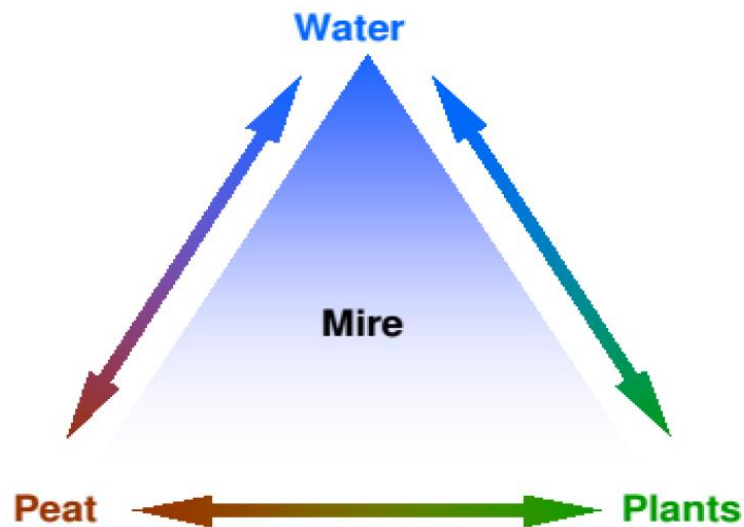
mempercepat emisi CO₂ . Kebakaran dapat menurunkan simpanan karbon di jaringan tanaman dan di dalam gambut. Pemupukan dapat meningkatkan emisi. Sebaliknya, pada lahan gambut yang sudah terlanjur didrainase, peningkatan muka air tanah, misalnya melalui pemasangan empang pada saluran (*Canal Blocking*) dapat memperlambat emisi. Apabila hutan gambut terganggu, maka lahan gambut berubah fungsi dari penyerap menjadi sumber emisi gas rumah kaca (Agus dan Subiksa, 2008). Gas rumah kaca (GRK) yang dikeluarkan (diemisikan) lahan gambut adalah CO₂ , CH₄ (metan), dan N₂O. Di antara ketiga gas tersebut CO₂ merupakan GRK terpenting karena jumlahnya yang relatif besar, terutama dari lahan gambut yang sudah berubah fungsi dari hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman. Jumlah emisi dari tanah gambut untuk selang waktu tertentu dapat dihitung berdasarkan perubahan karbon tersimpan pada tanah gambut.

Pada gambut tropika, pembentukan gambut dimulai dengan pengisian bertahap suatu cekungan atau rawa oleh sedimen dari luar. Pada tahap selanjutnya pembentukan gambut mengalami percepatan secara horizontal dan vertikal. Pada tahapan ini pasokan air berasal dari air hujan dan limpasan dari sekitarnya. Pada tahapan ketiga, terjadi penebalan gambut atau pembentukan kubah gambut. Pada tahapan ini, permukaan gambut dan permukaan air tanah naik sehingga tidak mendapat pasokan air dari luar dan sumber air satu-satunya adalah air hujan (Noor, 2014).

Pada tahap ke dua, akar tumbuhan yang hidup di atas timbunan gambut (tipis) masih dapat mengambil hara mineral dari lapisan di bawahnya (substratum) yang sebagian besar hara disumbang dari air sungai, sehingga gambut yang terbentuk termasuk subur (topogenous). Namun pada tahap ketiga, dengan semakin tebalnya lapisan gambut yang terbentuk, maka tumbuhan atau vegetasi yang hidup di atas gambut (tebal) tersebut tidak dapat lagi menyerap hara dari lapisan mineral di bawahnya, sehingga pasokan hara hanya dari air hujan dan atau hasil perombakan bahan organik setempat sehingga gambut yang terbentuk tergolong tidak subur (ombrogenous). Oleh karena itu, semakin tebal gambut maka semakin tidak subur lapisan gambut di atasnya. Demikian juga, gambut yang di bawahnya berupa

lapisan liat (marin) lebih subur dibandingkan apabila di bawahnya lapisan pasir (Noor, 2014).

Ekosistem lahan gambut merupakan hasil interaksi tiga komponen yang saling berkaitan yaitu tumbuhan, air, dan gambut dapat dilihat pada gambar 1. Tumbuhan menentukan jenis gambut yang akan terbentuk dan bagaimana sifat hidroliknya. Air (hidrologi) akan menentukan jenis tumbuhan yang akan tumbuh dan bagaimana gambut tersimpan dan terdekomposisi. Struktur gambut adalah bentuk permukaan yang akan menentukan bagaimana air mengalir dan berfluktuasi. Saling keterkaitan ini menyiratkan bahwa ketika salah satu dari komponen ini mengalami perubahan, komponen lainnya juga akan berubah. Belum tentu perubahan terjadi sekaligus, tetapi dalam jangka panjang pasti akan terjadi (Schumann, M, 2008).



Gambar 1 Diagram interaksi gambut dengan komponen lain.

2.4 Kebakaran Lahan Gambut

Kebakaran gambut tergolong dalam kebakaran bawah (*ground fire*). Pada tipe ini, api menyebar tidak menentu secara perlahan di bawah permukaan karena tanpa dipengaruhi oleh angin. Api membakar bahan organik dengan pembakaran yang tidak menyala (*smoldering*) sehingga hanya asap berwarna putih saja yang tampak di atas permukaan. Kebakaran bawah ini tidak terjadi dengan sendirinya,

biasanya api berasal dari permukaan, kemudian menjalar ke bawah membakar bahan organik melalui pori-pori gambut. Potongan-potongan kayu yang tertimbun gambut sekalipun akan ikut terbakar melalui akar semak belukar yang bagian atasnya terbakar. Dalam perkembangannya, api menjalar secara vertikal dan horizontal berbentuk seperti cerobong asap. Akar dari suatu tegakan pohon di lahan gambut pun dapat terbakar, sehingga jika akarnya hancur pohonnya pun menjadi labil dan akhirnya tumbang. Gejala tumbang pohon yang tajuknya masih hijau dapat atau bahkan sering dijumpai pada kebakaran gambut. Mengingat tipe kebakaran yang terjadi di dalam tanah dan hanya asapnya saja yang muncul di permukaan, maka kegiatan pemadaman akan mengalami banyak kesulitan. Pemadaman secara tuntas terhadap api di dalam lahan gambut hanya akan berhasil, jika pada lapisan gambut yang terbakar tergenangi oleh air. Untuk mendapatkan kondisi seperti ini tentunya diperlukan air dalam jumlah yang sangat banyak misalnya dengan menggunakan *stick pump* atau menunggu sampai api dipadamkan oleh hujan deras secara alami (Adinugroho, 2004).

Kebakaran hutan tropika terbesar yang terjadi pada tahun 1982/1983 berlangsungnya di Kalimantan Timur, kebakaran tersebut membakar kawasan hutan kurang lebih 3,6 juta ha dengan hutan/lahan rawa gambut yang terbakar seluas 550.000 ha (KLH-UNDP, 1998). Kebakaran tidak hanya terjadi di Kalimantan Timur, tapi juga di tempat-tempat lain di Kalimantan maupun Sumatera, terutama yang bergambut. Kebakaran tersebut terjadi pada musim kemarau secara berulang dari tahun ke tahun bagaikan penyakit menahun yang sulit disembuhkan; terutama pada tahun 1982, 1991, 1994, 1997/1998 dan tahun 2002. Pada tahun 1997/1998, Indonesia mengalami kebakaran hutan dan lahan yang paling parah di seluruh dunia. Lebih dari 2.000.000 ha lahan gambut telah terbakar dan diduga menjadi salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca yang cukup besar bagi perubahan iklim global. Berdasarkan investigasi yang telah dilakukan oleh berbagai pihak, areal hutan dan lahan gambut yang telah terbakar pada tahun 1997/1998 meliputi wilayah Sumatra, Kalimantan dan Papua, meskipun tidak menutup kemungkinan terjadi kebakaran hutan dan lahan gambut di wilayah lain tetapi tidak teramati (Adinugroho, 2004). Semakin rendah kadar air pada gambut

maka akan semakin cepat laju pembakarannya. Kebakaran gambut masih bisa terjadi pada kadar air 119% yang merupakan kadar air kritis kebakaran gambut (Nurkholis, 2018).

2.5 Tata Air Lahan Gambut

Menurut Dariah (2014) pengaturan tata air pada lahan gambut harus mempertimbangkan beberapa karakteristik gambut yang sangat spesifik, diantaranya kemampuan gambut yang sangat tinggi dalam menyerap air (bersifat hidrofilik) bisa berubah menjadi hidrofobik (menolak air), jika gambut telah mengalami proses kering tak balik (*irreversible drying*), kondisi ini terjadi jika gambut mengalami kekeringan yang sangat ekstrim.

Sebagian besar lahan gambut di Indonesia dimanfaatkan sebagai lahan perkebunan. Kegiatan pembukaan lahan yang diikuti dengan pembangunan saluran-saluran drainase (kanal buatan) telah menyebabkan penyusutan volume gambut. Pembangunan jaringan kanal drainase yang tidak terkontrol di ekosistem gambut akan meningkatkan laju aliran air (*overdrain*) dan menurunkan daya simpan air (retensi) pada ekosistem gambut. Hal ini akan menyebabkan muka air gambut turun drastis dan gambut akan mengalami kekeringan sehingga bisa menyebabkan kebakaran lahan. Dampak lain dari penurunan muka air gambut adalah terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) akibat adanya oksidasi, konsolidasi dan pemadatan gambut (Alfarisyi, 2020).

Rais (2011), menyatakan bahwa Indonesia memiliki luas lahan gambut berkisar antara 21 juta hektar atau 10 persen dari luas daratan Indonesia. Lahan gambut tersebut tersebar di pulau pulau besar yaitu Papua (8 juta hektar), Sumatera (7,2 juta hektar) dan Kalimantan (5,8 juta hektar). Sebagian besar lahan gambut di Indonesia dimanfaatkan sebagai lahan perkebunan. Kegiatan pembukaan lahan yang diikuti dengan pembangunan saluran-saluran drainase (kanal buatan) telah menyebabkan penyusutan volume gambut. Pembangunan jaringan kanal drainase yang tidak terkontrol di ekosistem gambut akan meningkatkan laju aliran air (*overdrain*) dan menurunkan daya simpan air (retensi) pada ekosistem gambut. Hal ini akan menyebabkan muka air gambut turun drastis dan gambut akan mengalami kekeringan sehingga bisa menyebabkan kebakaran lahan. Dampak lain dari

penurunan muka air gambut adalah terjadinya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) akibat adanya oksidasi, konsolidasi dan pemadatan gambut (Hooijer, 2012).

2.6 Tinggi Muka Air Tanah Lahan Gambut

Setelah lahan gambut dibangun drainase, akan terjadi proses dekomposisi bahan organik penyusun gambut oleh aktivitas mikroba dan melepaskan karbon yang tersimpan ke atmosfer sebagai karbon dioksida. Dekomposisi gambut yang cepat ini terus berlangsung menyebabkan proses yang tak dapat balik yakni *irreversible*. Pada gambut yang telah mengalami drainase, kedalaman drainase mempunyai keterkaitan dengan laju oksidasi bahan organik dan laju subsiden pada lahan gambut (Wösten, 2005.). Rata-rata 60% dari penurunan gambut disebabkan oleh oksidasi dan 40% sisanya disebabkan oleh kering tak balik atau penyusutan gambut (Wösten, 1997). Fluktuasi tinggi muka air mencerminkan keseluruhan kesetimbangan air di suatu lokasi (Bragg, 2002). Hal ini menjadikan perubahan tinggi muka air adalah indikator hidrologi kunci yang harus dimonitor pada ekosistem lahan gambut (Bonnet, 2009). Pada lahan gambut, tinggi muka air berkorelasi dengan salah satu indikator penting yang menentukan keberlangsungan penggunaan lahan tersebut untuk perkebunan yakni laju subsiden. Penurunan permukaan tanah pada lahan gambut dapat dikorelasikan berbanding lurus dengan kedalaman muka air tanah (Hooijer, 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dalam muka air tanah akan berdampak pada semakin tingginya tingkat penurunan permukaan lahan. Febrianti (2018) menyatakan bahwa tinggi muka air tanah gambut saat terjadi *hotspots* adalah lebih dalam dari 74 cm. Oleh karena itu kondisi TMA gambut harus dijaga kurang dari kedalaman ini yaitu kurang dari 40 cm, jika tidak kebakaran lahan gambut mungkin akan terjadi. Gambut dengan kadar air <100% berdasarkan berat umumnya telah mengalami proses kering tidak balik (*irreversible drying*). Pada kondisi ini gambut menjadi mudah terbakar dan mudah hanyut terbawa aliran air (Widjaja-Adhi, 1988).

2.7 Restorasi Gambut

Ada 5 langkah dalam merestorasi gambut yaitu: 1) memetakan gambut, 2) menentukan jenis, pelaku, dan rentang waktu pelaksanaan restorasi, 3) membasahi

gambut (*rewetting*), 4) menanam lahan gambut (*revegetasi*), dan 5) memberdayakan masyarakat lokal. Restorasi merupakan sebuah metode rehabilitasi khusus kebakaran hutan dan lahan gambut yang didalam prosesnya terdapat kegiatan yang mendukung mitigasi bencana. Pemberdayaan masyarakat memiliki peran penting dalam upaya pencegahan kebakaran hutan dan lahan gambut. Masyarakat jangan hanya dibebani untuk mencegah kebakaran hutan dan lahan gambut namun juga diberikan manfaat dari kegiatan pencegahan itu. Kegiatan restorasi yang berkaitan dengan mitigasi bencana, dapat dimulai melalui penanaman kembali hutan dan lahan gambut yang terdampak dengan tanaman-tanaman semusim (pada umumnya hortikultura) dan disandingkan dengan tanaman pohon yang dapat mengurangi kuantitas karbon atau mampu menyerap karbon serta memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Rahman, 2018).

2.8 Pintu Air

Prinsip utama dari pengaturan tata air di lahan adalah harus mampu menekan terjadinya penurunan fungsi lingkungan dari lahan gambut akibat dilakukannya proses drainase/ penurunan muka air tanah. Oleh karena itu, tinggi muka air tanah harus diatur sampai batas minimal dimana tanaman masih mampu tumbuh dengan baik, sehingga menjadi indikasi bahwa keadaan lahan tidak mengalami kekeringan. Artinya tinggi muka air tanah harus diatur supaya tidak terlalu dangkal dan tidak terlalu dalam. Hal ini dapat dilakukan jika tersedia fasilitas pengendali berupa pintu air di setiap saluran, terutama jika pengembangan lahan gambut dilakukan dalam skala luas (Dariah, 2014).

Pemasangan tabat pada muara saluran dapat mempertahankan cadangan air pada lahan di sekitarnya. Namun pada kenyataannya pembuatan saluran drainase tidak selalu dibarengi dengan pemasangan pintu-pintu air, sehingga pembukaan lahan gambut akan menimbulkan dampak terhadap tanah dan lingkungan. Oleh karena itu, pemasangan pintu air bersamaan dengan pembuatan saluran drainase perlu dilakukan dan merupakan komponen penting dalam pengaturan tata air.



Gambar 2 Penerapan pintu stoplog sederhana.



Gambar 3 Tabat agar air tidak keluar.

Adapun pada penerapannya terdapat berbagai jenis sistem pintu air yang dapat diimplementasikan pada jenis lahan gambut tertentu. Terdapat dua sistem irigasi yang diterapkan pada lahan gambut di Indonesia yaitu Sistem handil yang penting untuk lahan persawahan yang simple, dan sistem anjir yang terdiri dari saluran primer, sekunder, dan tersier yang lebih kompleks. Beberapa jenis pintu air yang dapat diimplementasikan adalah jenis Flap Gate yang berfungsi sebagai pengelolaan air sistem satu arah untuk mengalir aliran air kecil, dan ditambahkan saluran pipa.(Dariah, 2014).

2.9 Logika Fuzzy

Terdapat beberapa definisi dari logika *fuzzy*. Menurut Kusumadewi dan Purnomo, sebagaimana yang dikutip oleh Gaddafi (2016), logika *fuzzy* (*Fuzzy Logic*) pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika *fuzzy* merupakan solusi pemecahan masalah ketidakpastian yang tepat, karena logika *fuzzy* adalah fleksibel dan memberikan toleransi terhadap ketidakpresisian data (Santoso, 2017). Secara bahasa, *fuzzy* berarti kabur atau samar. 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 (Hadiyanti, 2013). Logika *fuzzy* adalah sebuah metode dalam kecerdasan buatan yang menggunakan variabel kata-kata sebagai pengganti berhitung dengan bilangan (Azmi, 2018).

Logika *fuzzy* merupakan cabang ilmu matematika yang baru ditemukan beberapa tahun yang lalu dan memiliki konsep yang sederhana. Terdapat berbagai masalah dalam kehidupan sehari-hari yang erat hubungannya dengan ketidakpastian. Guna menggambarkan keadaan sehari-hari yang tidak pasti maka muncul istilah *fuzzy* yang pertama kali dikemukakan oleh Zadeh (1962). Atas dasar inilah Zadeh (1965) berusaha memodifikasi teori himpunan, dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara nol sampai satu (Yulianto, 2012). Logika *fuzzy* adalah metode yang termasuk dalam kategori *soft computing*, metode yang dapat mengolah data-data yang bersifat tidak pasti dan dapat diimplementasikan dengan biaya yang murah (Salman, 2010).

Menurut Kusumadewi (2002) alasan menggunakan *fuzzy* adalah sebagai berikut :

- a. Konsep logika *fuzzy* adalah sangat sederhana sehingga mudah dimengerti.
- b. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- c. Logika *fuzzy* sangat fleksibel.
- d. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- e. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non linear yang sangat kompleks.
- f. Logika *fuzzy* dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- g. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa manusia.

Logika *fuzzy* digunakan untuk memetakan sebuah variabel masukan ke dalam proses dan akan menghasilkan keluaran dengan menggunakan *rule IF - THEN*. Penggunaan logika *fuzzy* dapat dikembangkan sebagai sistem pakar, karena dapat menghasilkan keluaran sebagai layaknya seorang pakar. Selain itu logika *fuzzy* dapat menyimpan pengetahuan para pakar yang disimpan kedalam basis

pengetahuan dan dapat memprediksi kejadian yang akan datang. Dalam logika *fuzzy*, prosesnya menggunakan sebuah mesin yang dikenal sebagai *fuzzy inference system* (FIS) (Setiawan, 2018).

Hal yang perlu diketahui dalam memahami himpunan sistem *fuzzy* yaitu:

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan suatu lambang atau kata yang menunjuk kepada suatu yang tidak tertentu dalam sistem *fuzzy*.

Contoh: permintaan, persediaan, produksi, dan sebagainya.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu kumpulan yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut yaitu:

- Linguistik yaitu penamaan suatu grup yang memiliki suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa seperti: muda, parobaya, tua.
- Numerik yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 5, 10, 15, dan sebagainya.

c. Semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya. Contoh: semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0, +\infty]$. Sehingga semesta pembicaraan dari variabel umur adalah $0 \leq \text{umur} < +\infty$. Dalam hal ini, nilai yang di perbolehkan untuk dioperasikan dalam variabel umur adalah lebih besar dari atau sama dengan 0, atau kurang dari positif tak hingga.

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai domain dapat berupa

bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan *fuzzy*: Muda = [0,45] (Irfan, 2016).

2.10 Himpunan *Fuzzy*

Suatu himpunan tegas A dalam semesta X dapat didefinisikan dengan menggunakan suatu fungsi $\chi_A: X \rightarrow \{0,1\}$ yang disebut fungsi karakteristik dari himpunan A , di mana untuk setiap $x \in X$ (Susilo, 2006).

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } x \in A \\ 0, & \text{untuk } x \notin A \end{cases}$$

Contoh: $S = \{1,2,3,4,5\}$ adalah semesta pembicaraan $A = \{1,2,3\}$, dan $B = \{3,4,5\}$. Bisa dikatakan bahwa:

Nilai keanggotaan 1 pada himpunan A , $\mu_A(1) = 1$, karena $1 \in A$.

Nilai keanggotaan 5 pada himpunan A , $\mu_A(5) = 0$, karena $5 \notin A$.

Dengan memperluas konsep fungsi karakteristik itu, Zadeh (1962) mendefinisikan himpunan kabur dengan menggunakan apa yang disebutnya fungsi keanggotaan yang nilainya berada dalam selang tertutup $[0,1]$. Jadi, keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* tidak lagi merupakan suatu yang tegas (anggota atau bukan anggota), melainkan sesuatu yang berderajat secara kontinu.

Konsep “pandai” yang dalam kerangka teori himpunan klasik tidak dapat dipakai untuk membentuk suatu himpunan (misalnya: “himpunan orang yang pandai”), dalam teori *fuzzy* justru merupakan suatu himpunan dengan fungsi keanggotaan tertentu. Setiap orang dengan taraf kepandaiannya masing-masing merupakan anggota himpunan *fuzzy* tersebut dengan derajat keanggotaan tertentu (Susilo, 2006).

Dengan perkataan lain, fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* \tilde{A} dalam semesta pembicaraan X adalah pemetaan $\mu_{\tilde{A}}(x)$ dari X ke selang $[0,1]$ yaitu $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$. Nilai fungsi $\mu_{\tilde{A}}(x)$ menyatakan derajat keanggotaan unsur $x \in X$ dalam himpunan *fuzzy* \tilde{A} (Susilo, 2006). Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu item dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak di antaranya (Kusumadewi, 2002). Dengan kata lain, nilai kebenaran suatu item tidak hanya bernilai benar atau salah. Nilai 0

menunjukkan salah, nilai 1 menunjukkan benar dan masih ada nilai-nilai yang terletak antara benar dan salah (Purwandito, 2019).

Misalkan pada variabel UMUR memiliki himpunan *fuzzy* MUDA, SETENGAH BAYA dan TUA dengan diketahui klasifikasi sebagai berikut:

<i>MUDA</i>	$umur < 35 \text{ tahun}$
<i>SETENGAH BAYA</i>	$35 \leq umur \leq 55 \text{ tahun}$
<i>TUA</i>	$umur > 55 \text{ tahun}$

Dengan menggunakan pendekatan *crisp*, amatlah tidak adil untuk menetapkan nilai *SETENGAH BAYA*. Pendekatan ini bisa saja dilakukan untuk hal-hal yang bersifat diskontinu. Misalkan klasifikasi untuk umur 55 dan 56 sangat jauh berbeda, umur 55 tahun termasuk *SETENGAH BAYA* sedangkan umur 56 tahun sudah termasuk *TUA*. Demikian pula untuk kategori *MUDA* dan *TUA*. Orang yang berumur 34 tahun dikatakan *MUDA* sedangkan orang yang berumur 35 tahun sudah *TIDAK MUDA* lagi. Orang yang berumur 55 tahun termasuk *SETENGAH BAYA*, orang yang berumur 55 tahun lebih 1 hari sudah tidak *SETENGAH BAYA* lagi. Dengan demikian pendekatan *crisp* ini sangat tidak cocok untuk diterapkan pada hal-hal yang bersifat kontinu seperti umur.

Selain itu, untuk menunjukkan suatu umur pasti termasuk *SETENGAH BAYA*, atau tidak termasuk *SETENGAH BAYA*, dan menunjukkan suatu nilai kebenaran 0 atau 1 dapat digunakan nilai pecahan, dan menunjuk 1 atau nilai yang dekat dengan satu untuk umur 45 tahun, kemudian perlahan menurun menuju ke 0 untuk umur dibawah 35 tahun dan diatas 55 tahun (Kusumadewi, 2002).

2.11 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan atau *membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data (sumbu x) kepada nilai keanggotaannya (sering juga disebut derajat keanggotaan) yang mempunyai interval mulai 0 sampai 1. Salah satu cara untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi (Setiawan, 2018).

Jika X adalah himpunan objek-objek yang secara umum dinotasikan dengan x, maka himpunan *fuzzy* A di dalam X didefinisikan sebagai himpunan pasangan berurutan (Jang, 1997) :

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

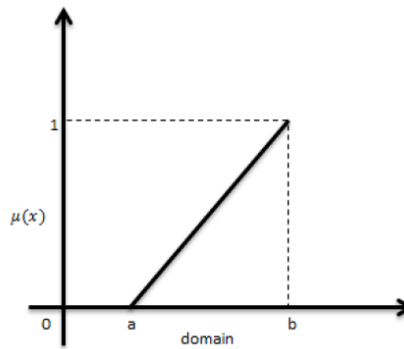
$\mu_A(x)$ disebut derajat keanggotaan dari x dalam A , yang mengindikasikan derajat berada di dalam (Lin, 1996)

Beberapa macam pendekatan fungsi untuk memperoleh nilai keanggotaan yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu representasi linear naik, linear turun dan kurva segitiga.

a. Linear naik dan linear turun

Pada representasi linear, pemetaan *input* ke derajat keanggotaan digambarkan menjadi suatu garis lurus (Setiawan, 2018).

- Linear naik: dimulai dari derajat 0 dan bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan lebih tinggi.



Gambar 4 Representasi Kurva Linear Naik

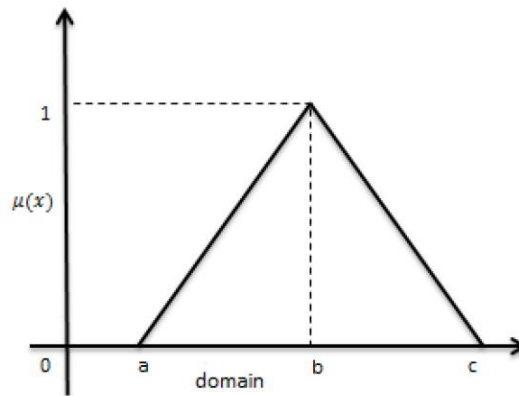
Fungsi Keanggotaan :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 ; x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} ; a \leq x \leq b \\ 0 ; x \geq b \end{cases}$$

Himpunan *fuzzy* dengan kurva linear turun memiliki domain $(-\infty, \infty)$ terbagi menjadi tiga selang yaitu: $[0, a]$, $[a, b]$, dan $[b, \infty]$ dimana a = titik minimum dan b = titik maksimum (Irfan, 2016).

b. Kurva Segitiga

Kurva segitiga merupakan gabungan antara dua garis atau linear. Representasi fungsi keanggotaan segitiga (*triangular*) ditentukan oleh tiga parameter $\{a, b, c\}$ sebagai berikut:



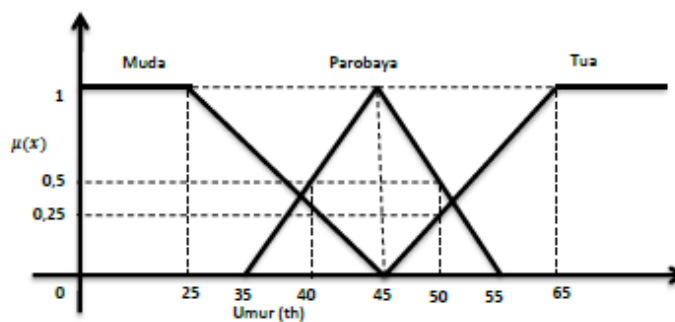
Gambar 5 Representasi Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Himpunan *fuzzy* dengan kurva segitiga memiliki domain $(-\infty, \infty)$ terbagi menjadi empat selang yaitu : $[0, a]$, $[a, b]$, $[b, c]$ dan $[c, \infty]$ dimana a = titik minimum, b = titik tengah dan c = titik maksimum (Irfan, 2016).

Contoh :



Gambar 6 Fungsi Keanggotaan *Fuzzy*

Gambar 6 adalah suatu fungsi keanggotaan untuk variabel UMUR yang dibagi menjadi tiga kategori atau tiga himpunan *fuzzy* yaitu MUDA, PAROBAYA, TUA, dimana dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$\mu_{MUDA}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq 25 \\ \frac{45 - x}{45 - 25}, & 25 < x < 45 \\ 0, & x \geq 45 \end{cases}$$

$$\mu_{PAROBAYA}(x) = \begin{cases} 0, & X \leq 35 \text{ atau } x \geq 55 \\ \frac{x - 35}{45 - 35}, & 35 < x < 45 \\ \frac{55 - x}{55 - 45}, & 45 < x < 55 \end{cases}$$

$$\mu_{TUA}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 45 \\ \frac{x - 45}{65 - 45}, & 45 < x < 65 \\ 1, & x \geq 65 \end{cases}$$

2.12 Operator Dasar Himpunan *Fuzzy*

Untuk melakukan proses penalaran dan inferensi diperlukan operasi himpunan *fuzzy* dengan mengoperasikan derajat keanggotaannya. Ada tiga operator dasar himpunan *fuzzy* yaitu:

a. Operator AND

Operator ini berhubungan dengan operasi interseksi pada himpunan α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator AND diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan, dapat dilihat persamaan dibawah ini:

$$\mu(A \cap B)(X) = \min \{\mu A(x), \mu B(y)\}$$

b. Operator OR

Operator ini berhubungan dengan operasi union pada himpunan α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator OR diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan, dapat dilihat persamaan dibawah ini:

$$\mu(A \cup B)(X) = \max \{\mu A(x), \mu B(y)\}$$

c. Operator NOT

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator NOT diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1, dapat dilihat persamaan dibawah ini:

$$\mu A' = 1 - \mu A(x)$$

(Setiawan, 2018).

2.13 Fungsi Implikasi Fuzzy

Setiap aturan (proposisi) pada pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

$$IF\ x\ is\ A\ Then\ y\ is\ B$$

dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan *fuzzy*. Aturan yang mengikuti IF disebut anteseden, sedangkan yang mengikuti THEN disebut konsekuen (Febrianto, 2008). Sebagai contoh implikasi *crisp* atau tegas adalah “jika suhu 50C maka musim panas” , dari implikasi tersebut terdefinisi secara jelas. Sedangkan contoh implikasi *fuzzy* adalah “jika suhu tinggi maka kelembabannya cukup tinggi”, dari implikasi tersebut terlihat bahwa terdapat istilah *fuzzy* atau samar yaitu “tinggi” dan “cukup tinggi” yang belum didefinisikan secara jelas seberapa besar nilai “tinggi” dan “cukup tinggi” tersebut (Lee, 2005).

2.14 Sistem Inferensi Fuzzy

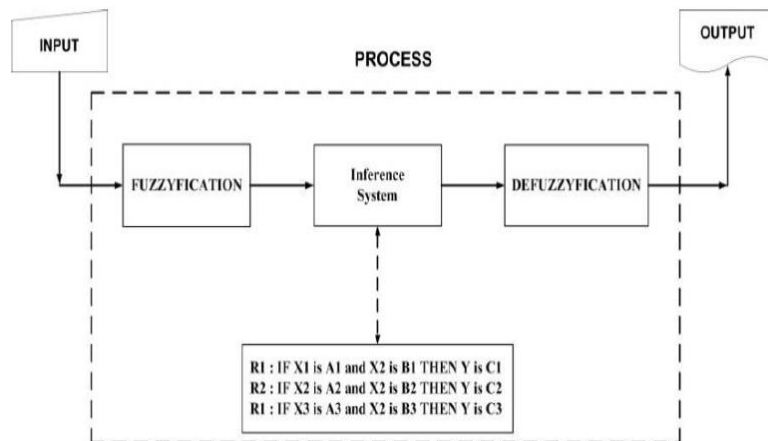
Sistem *fuzzy* yang dihasilkan dikenal dengan sistem inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference system*/FIS). FIS telah berhasil diaplikasikan di bidang, seperti kesehatan, mesin, analisis keputusan, analisis data dan sebagainya. Kemampuan FIS yang fleksibel diterapkan diberbagai bidang, maka FIS kini banyak digunakan oleh para peneliti (Setiawan, 2018).

Dalam proses menyelesaikan suatu permasalahan, sistem inferensi *fuzzy* memiliki beberapa kelebihan, di antaranya adalah mampu menanggapi proses linguistik menjadi himpunan-himpunan *fuzzy*, pendekatan *universal* sistem inferensi *fuzzy* mampu melakukan pemetaan nonlinear antara *input* dan *output*,

sistem inferensi *fuzzy* dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar dalam bentuk aturan-aturan, tingkat sistematiknya yang tinggi dan kemampuan generalisasinya sangat baik (Alamsyah, 2016). Sistem inferensi *fuzzy* ini mengatasi kelemahan dari sistem *fuzzy* murni dengan menggunakan *fuzzyfikasi* dan *defuzzyfikasi* (Wang, 1997).

Ada beberapa metode untuk merepresentasikan hasil logika *fuzzy* yaitu metode Tsukamoto, *Sugeno* dan Mamdani (Kusumadewi, 2002). Namun yang banyak digunakan adalah Mamdani dan yang masih jarang digunakan adalah metode Tsukamoto (Setiawan, 2018). Sedangkan metode *Sugeno* saat ini telah banyak menarik perhatian untuk dilakukan penelitian dan beberapa hasil penelitian menarik telah dilaporkan menggunakan metode *Sugeno* (Lamrabet, 2019). Kelebihan metode *Sugeno* yang menarik adalah memiliki kemampuan aproksimasi yang baik untuk fungsi yang sangat nonlinear (Wang, 2018).

Inferensi *fuzzy* adalah proses penggabungan banyak aturan berdasarkan data yang tersedia. Komponen yang melakukan inferensi dalam sistem pakar disebut mesin inferensi (Turban, 2007). Pada sistem inferensi *fuzzy*, nilai-nilai masukan tegas dikonversikan oleh unit *fuzzifikasi* ke nilai *fuzzy* yang sesuai. Hasil pengukuran yang telah *difuzzikan* itu kemudian diproses oleh unit penalaran, yang dengan menggunakan unit basis pengetahuan, menghasilkan himpunan-himpunan *fuzzy* sebagai keluarannya. Langkah terakhir dikerjakan oleh unit *defuzzifikasi* yaitu menerjemahkan himpunan keluaran itu ke dalam nilai yang tegas. Nilai tegas inilah yang kemudian direalisasikan dalam bentuk suatu tindakan yang dilaksanakan dalam proses itu (Novianto, 2016). Berikut alur logika sistem inferensi *fuzzy*:



Gambar 7 Alur Logika Sistem Inferensi *Fuzzy*

Pendekatan sistem inferensi *fuzzy* diimplementasikan dalam tiga tahap yaitu:

1. *Fuzzyfikasi*

Fuzzyfikasi merupakan fase pertama dari perhitungan *fuzzy* yaitu mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti kedalam bentuk *fuzzy input* yang berupa tingkat keanggotaan atau tingkat kebenaran. Dengan demikian, tahap ini mengambil nilai-nilai *crisp* dan menentukan derajat dimana nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang sesuai.

2. Inferensi *Fuzzy*

Inferensi *fuzzy* adalah melakukan penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Secara sintaks, suatu *fuzzy rule* (aturan *fuzzy*) dituliskan sebagai berikut:

IF antecedent THEN consequent

3. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi adalah mengubah *fuzzy output* menjadi nilai tegas berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Defuzzyfikasi merupakan metode yang sangat penting dalam pemodelan sistem *fuzzy* (Thamrin, 2012). Masukan dari proses penegasan adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan *real* yang tegas. Jika diberikan

suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai *output* (Syaputra, 2018).

2.15 Sistem Inferensi Fuzzy Metode Tsukamoto

Sistem inferensi *fuzzy* didasarkan pada konsep penalaran monoton. Pada metode penalaran secara monoton, nilai *crisp* pada daerah konsekuen dapat diperoleh secara langsung berdasarkan *fire strength* pada antesedennya. Salah satu syarat yang harus dipenuhi pada penalaran ini adalah himpunan *fuzzy* pada konsekuennya harus bersifat monoton, baik monoton naik maupun monoton turun (Kusumadewi, 2010). Model *fuzzy Tsukamoto* diusulkan oleh Y. Tsukamoto pada tahun 1979. Dalam model *fuzzy Tsukamoto*, dinyatakan bahwa konsekuensi dari setiap aturan *if-then* direpresentasikan oleh himpunan *fuzzy* diatur dengan fungsi keanggotaan monoton (Bandyopadhyay, 2013).

Pada metode Tsukamoto, setiap aturan direpresentasikan menggunakan himpunan-himpunan *fuzzy*, dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Untuk menentukan nilai *output crisp*/hasil yang tegas (*Z*) dicari dengan cara mengubah *input* (berupa himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*) menjadi suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Cara ini disebut dengan metode defuzzifikasi (penegasan). Metode defuzzifikasi yang digunakan dalam metode Tsukamoto adalah metode defuzzifikasi rata-rata terpusat (*Center Average Defuzzifier*) (Purwandito, 2017).

Untuk memperoleh *output* dari metode *fuzzy Tsukamoto* perlu melakukan enam tahap sebagai berikut:

1. *Input*: berupa variabel *input*
2. *Fuzzifikasi*: proses untuk mengubah *input* sistem yang mempunyai nilai tegas menjadi variabel linguistik menggunakan fungsi keanggotaan yang disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy*.
3. Basis pengetahuan *fuzzy*: Mengumpulkan *rule-rule fuzzy* dalam bentuk pernyataan IF...THEN. Secara umum :

$$IF (x_1 is A_1) and (x_2 is A_2) and ... and (x_i is A_i) THEN (Z is B)$$

Dimana A_i adalah himpunan *fuzzy* ke- i sebagai anteseden dan B adalah himpunan *fuzzy* sebagai konsekuen.

4. Mesin inferensi: proses untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan (IF-THEN Rule) yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*. Dalam inferensi *fuzzy*, menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan α - predikat dari setiap aturan $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i)$ yang kemudian digunakan untuk menghitung keluaran hasil inferensi secara tegas dari setiap aturan (z_1, z_2, \dots, z_i)).
5. Defuzzyfikasi: mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan *fuzzyfikasi*. Proses defuzzyfikasi pada metode Tsukamoto menggunakan metode rata-rata (Average) dengan rumus berikut:

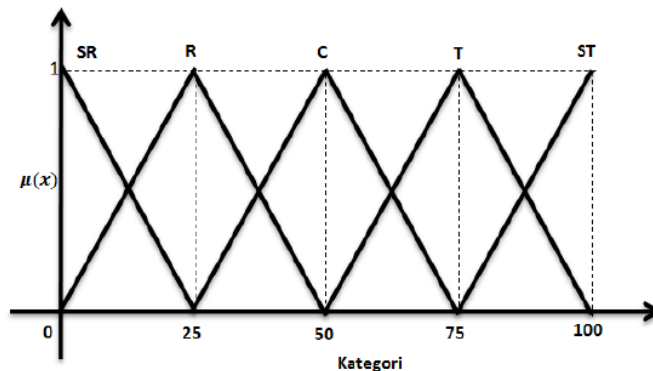
$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}$$

Dengan μ_i adalah α -predikat ke- i , dan z_i adalah *output* pada anteseden aturan ke- i

6. *Output* : Berupa hasil *Fuzzy*.

Contoh persoalan menggunakan metode *fuzzy Tsukamoto*.

Untuk menentukan kinerja seorang karyawan dipengaruhi oleh 3 variabel yaitu loyalitas, kedisiplinan dan prestasi. Setiap variabel terbagi atas 5 himpunan yaitu sangat rendah (SR), rendah (R), cukup (C), tinggi (T) dan sangat tinggi (ST). Fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan terlihat pada gambar 8. Kinerja karyawan terbagi atas dua kategori yaitu baik dan buruk, masing-masing dengan fungsi keanggotaan seperti pada gambar 9.



Gambar 8 Himpunan *Fuzzy* untuk Setiap Variabel pada Antesenden

Fungsi keanggotaan untuk setiap himpunan adalah :

a. Himpunan Sangat Rendah (SR)

$$\mu_{SR}(x) = \begin{cases} \frac{25-x}{25}; & 0 \leq x \leq 25 \\ 0; & x \geq 25 \end{cases}$$

b. Himpunan Rendah (R)

$$\mu_R(x) = \begin{cases} \frac{x}{25}; & 0 \leq x \leq 25 \\ \frac{50-x}{25}; & 25 \leq x \leq 50 \\ 0; & x \geq 50 \end{cases}$$

c. Himpunan Cukup (C)

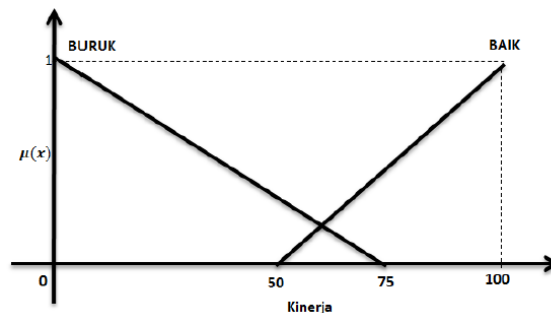
$$\mu_C(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 25 \text{ atau } x \geq 75 \\ \frac{x-25}{25}; & 25 \leq x \leq 50 \\ \frac{75-x}{75}; & 50 \leq x \leq 75 \end{cases}$$

d. Himpunan Tinggi (T)

$$\mu_T(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{25}; & 50 \leq x \leq 75 \\ \frac{100-x}{25}; & 75 \leq x \leq 100 \end{cases}$$

e. Himpunan Sangat Tinggi (ST)

$$\mu_{ST}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 75 \\ \frac{x-75}{25}; & 75 \leq x \leq 100 \end{cases}$$



Gambar 9 Himpunan *Fuzzy* untuk Kinerja

a. Himpunan Buruk

$$\mu_{BURUK}(y) = \begin{cases} \frac{75-y}{75}; & 0 \leq y \leq 75 \\ 0; & y \geq 75 \end{cases}$$

b. Himpunan Baik

$$\mu_{BAIK}(y) = \begin{cases} 0; & y \leq 25 \\ \frac{y-50}{50}; & 50 \leq y \leq 100 \end{cases}$$

Diberikan dua aturan yaitu:

[R1] IF loyalitas TINGGI and kedisiplinan TINGGI and prestasi SANGAT TINGGI THEN kinerja BAIK.

[R2] IF loyalitas CUKUP and kedisiplinan RENDAH and prestasi SANGAT RENDAH THEN kinerja BURUK.

Misalkan ada seorang karyawan yang memiliki nilai loyalitas 60, kedisiplinan 80, dan prestasi 90, maka dapat dihitung:

$$\mu_{Loyalitas\ TINGGI}(60) = \frac{60-50}{25} = 0,4$$

$$\mu_{Loyalitas\ CUKUP}(60) = \frac{75-60}{25} = 0,6$$

$$\mu_{Kedisiplinan\ TINGGI}(80) = \frac{100-80}{25} = 0,8$$

$$\mu_{Kedisiplinan\ RENDAH}(80) = 0$$

$$\mu_{Prestasi\ SANGAT\ TINGGI}(90) = \frac{90-75}{25} = 0,6$$

$$\mu_{Prestasi\ SANGAT\ RENDAH}(90) = 0$$

Karena digunakan operator “and” untuk menyelesaikan antar variabel maka nilai α -predikat (μ_i) dari setiap aturan tersebut adalah:

[R1] IF loyalitas TINGGI and kedisiplinan TINGGI and prestasi SANGAT TINGGI THEN kinerja BAIK.

$$\mu_1 = \min\{0,4; 0,8; 0,6\} = 0,4$$

R2] IF loyalitas CUKUP and kedisiplinan RENDAH and prestasi SANGAT RENDAH THEN kinerja BURUK.

$$\mu_1 = \min\{0,6; 0; 0\} = 0$$

Dari sini dapat dihitung suatu nilai perkiraan setiap aturan pada variabel kinerja yaitu

$$\mu_{kinerja\ BAIK}(z_1) = \frac{z_1 - 50}{50} \leftrightarrow 0,4 = \frac{z_1 - 50}{50} \leftrightarrow z_1 = 70$$

$$\mu_{kinerja\ BURUK}(z_2) = \frac{75 - z_2}{75} \leftrightarrow 0 = \frac{z_2 - 50}{50} \leftrightarrow z_2 = 50$$

Sehingga, defuzzyfikasinya adalah sebagai berikut:

$$Z = \frac{\mu_1 z_1 + \mu_2 z_2}{\mu_1 + \mu_2} = \frac{(0,4 * 70) + (0 * 50)}{0,4 + 0} = 70$$

Jadi, nilai kinerja karyawan tersebut adalah 70.

Pada dasarnya, metode Tsukamoto mengaplikasikan penalaran monoton pada setiap aturannya. Kalau pada penalaran monoton sistem hanya memiliki satu aturan, pada metode Tsukamoto terdiri atas beberapa aturan (Kusumadewi, 2010).

2.16 Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani (Min-Max)

Penalaran *fuzzy* yang telah dipelajari terdahulu adalah metode penalaran mamdani. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Pada metode mamdani, baik *input* (anteseden) maupun *output* (konsekuen) sistem berupa himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2002).

Untuk metode ini, pada setiap aturan yang berbentuk implikasi (“sebab-akibat”) anteseden yang berbentuk konjungsi (*AND*) mempunyai nilai keanggotaan berbentuk minimum (min), sedangkan konsekuen gabungannya berbentuk maksimum (max), karena himpunan aturan-aturannya bersifat independen (tidak saling bergantung).

Sistem *fuzzy* model mamdani memerlukan 4 tahapan, yaitu :

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*

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

2. Penggunaan fungsi implikasi

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

3. Penarikan kesimpulan atau komposisi aturan

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

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi pada metode Mamdani dapat dilakukan dengan beberapa metode defuzzifikasi antara lain: *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum*, *Largest of Maximum* atau *Smallest of Maximum* (Setiawan, 2018).

2.17 Sistem Inferensi Fuzzy Metode Sugeno

Sistem inferensi *fuzzy* menggunakan metode *Sugeno* memiliki karakteristik yaitu konsekuen tidak merupakan himpunan *fuzzy*, namun merupakan suatu persamaan linear dengan variabel-variabel sesuai dengan variabel-variabel *inputnya*. Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 (Kusumadewi, 2010).

Metode *Fuzzy Sugeno* adalah metode inferensi *fuzzy* untuk aturan yang direpresentasikan dalam bentuk IF-THEN, di mana sistem *output* (akibatnya) bukan dalam bentuk *fuzzy*, melainkan persamaan konstan atau linear (Alfita, 2017). Keuntungan metode *Sugeno* antara lain komputasinya lebih efisien, bekerja paling baik untuk teknik optimasi, dan lebih cocok untuk analisis secara matematis (Rofiq, 2013). Untuk memperoleh *output* dari metode *Fuzzy Sugeno* diperlukan empat tahap yaitu:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy* (*fuzzyfikasi*)
2. Aplikasi fungsi implikasi

Aturan dasar *fuzzy* mendefinisikan hubungan antara fungsi keanggotaan dan bentuk fungsi keanggotaan hasil. Pada metode *Sugeno*, *output* (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy* melainkan berupa konstanta atau persamaan linier (Sitio, 2018). Metode *Sugeno* terdiri dari dua jenis, yaitu:

- a. Model *Fuzzy Sugeno* Orde-Nol

Bentuk umum dari model *Fuzzy Sugeno* Orde-Nol adalah

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ o } \dots \text{ o } (x_i \text{ is } A_i) THEN z = k$$

Dengan A_i adalah himpunan *fuzzy* ke- i sebagai anteseden, dan k adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen.

b. Model *Fuzzy Sugeno* Orde-Satu

Bentuk umum dari model *Fuzzy Sugeno* Orde-Satu adalah

$$IF (x_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ o } \dots \text{ o } (x_i \text{ is } A_i) THEN z = p_1 * x_1 + \dots + p_i * x_i + q$$

dengan A_i adalah himpunan *fuzzy* ke- i sebagai anteseden, dan p_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i dan q juga merupakan konstanta pada konsekuen.

3. Komponen aturan (Agregasi)

Apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan yaitu menghitung hasil dari Σ dengan R adalah banyaknya aturan (*rule*), adalah nilai implikasi MIN atau α -predikat ke- r , dan adalah *output* pada anteseden aturan ke- r .

4. Penegasan (Defuzzyfikasi)

Defuzzyfikasi pada metode *Sugeno* dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i Z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}$$

dengan μ_i adalah α -predikat ke- i , dan adalah *output* pada anteseden aturan ke- i (Agustin, 2016).

Contoh persoalan menggunakan metode *Fuzzy Sugeno*.

Suatu perusahaan susu ingin memperluas pemasarannya di berbagai kota di seluruh pelosok tanah air. Manajer pemasaran memiliki data-data jumlah balita, pendapatan rata-rata keluarga perbulan, dan konsumsi susu daerah-daerah tersebut. Maka dirumuskan aturan-aturan sebagai berikut:

R_1 Jika jumlah balita banyak dan pendapatan rata-rata keluarga tinggi maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,5 penghasilan + 20.

R_2 Jika jumlah balita banyak dan pendapatan rata-rata keluarga sedang maka konsumsi susu = 0,5 jumlah balita + 0,25 pendapatan rata-rata + 52.

R_3 Jika jumlah balita banyak dan pendapatan rata-rata keluarga kecil maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,33 pendapatan rata-rata - 13.

R₄ Jika jumlah balita sedang dan pendapatan rata-rata keluarga tinggi maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,2 pendapatan rata-rata - 28.

R₅ Jika jumlah balita sedang dan pendapatan rata-rata keluarga sedang maka konsumsi susu = 0,5 jumlah balita + 0,25 pendapatan rata-rata + 4.

R₆ Jika jumlah balita sedang dan pendapatan rata-rata keluarga kecil maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,25 pendapatan rata-rata - 33.

R₇ Jika jumlah balita sedikit dan pendapatan rata-rata keluarga tinggi maka konsumsi susu = 0,5 jumlah balita + 0,125 pendapatan rata-rata + 62.

R₈ Jika jumlah balita sedikit dan pendapatan rata-rata keluarga sedang maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,5 pendapatan rata-rata + 61.

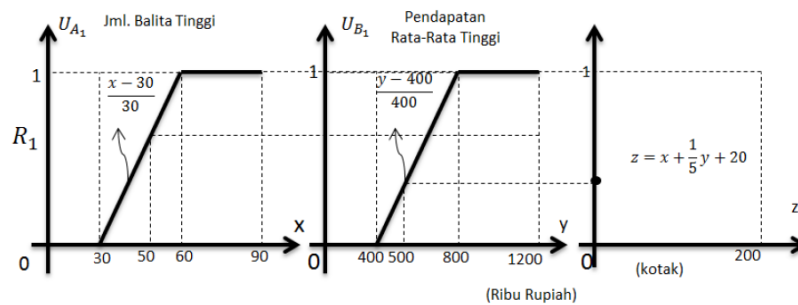
R₉ Jika jumlah balita sedikit dan pendapatan rata-rata keluarga kecil maka konsumsi susu = jumlah balita + 0,33 pendapatan rata-rata + 15.

Jika pada suatu daerah jumlah balita 50 dan pendapatan rata-rata penduduk Rp500.000/bulan, berapa jumlah konsumsi susu yang dipasarkan (dialokasikan)?

Penyelesaian:

Ada 3 variabel yaitu jumlah balita, pendapatan rata-rata/bulan dan jumlah konsumsi susu. Diadakan *fuzzyfikasi* dan penampilan setiap implikasi aturan sebagai berikut:

a. Aturan R₁

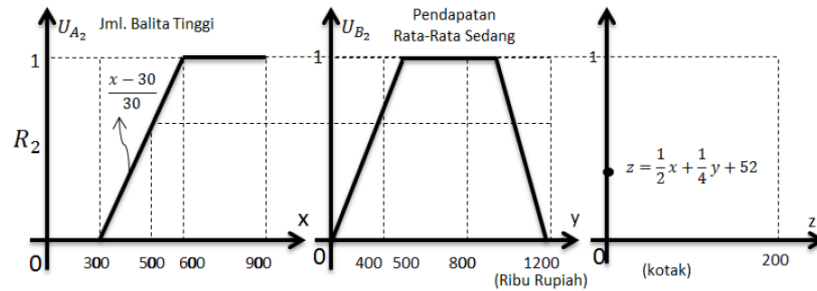


Gambar 10 Grafik Implikasi Aturan R₁.

Dari R₁ diperoleh $Z_1 = x + 0,2y + 20 = 50 + 0,2 \cdot 500 + 20 = 170$

Dan $\mu_1 = 0,25$

b. Aturan R2

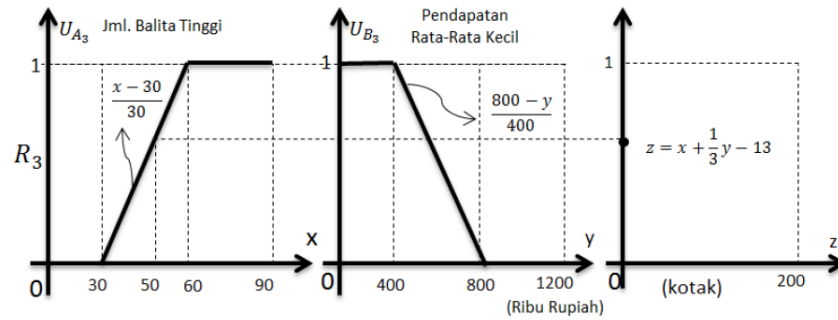


Gambar 11 Grafik Implikasi Aturan R2.

Dari R2 diperoleh $Z2 = 0,5x + 0,25y + 52 = 25 + 125 + 52 = 202$

Dan $\mu2 = 0,66$

c. Aturan R3

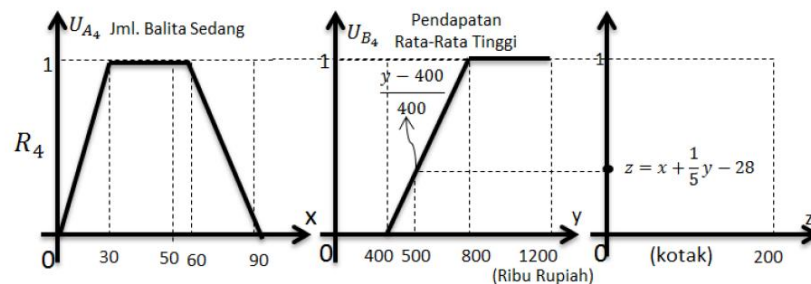


Gambar 12 Grafik Implikasi Aturan R3.

Dari R3 diperoleh $Z3 = x + 0,33y - 13 = 50 + 0,33 \cdot 500 - 13 = 204$

Dan $\mu3 = 0,66$

d. Aturan R4

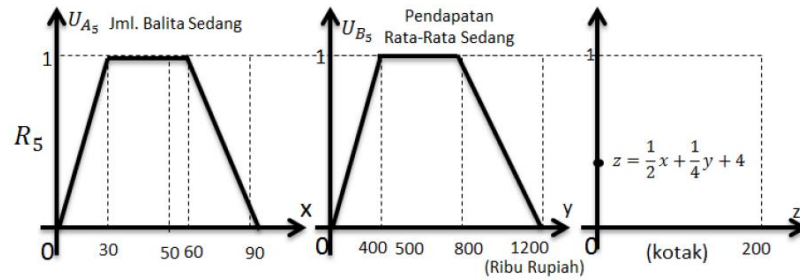


Gambar 13 Grafik Implikasi Aturan R4.

Dari R4 diperoleh $Z4 = x + 0,2y - 28 = 50 + 0,2 \cdot 500 - 28 = 122$

Dan $\mu4 = 0,33$

e. Aturan R5

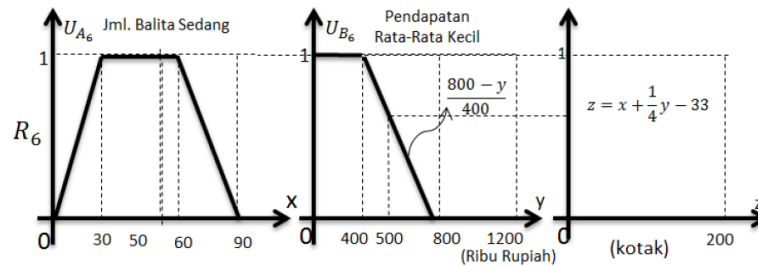


Gambar 14 Grafik Implikasi Aturan R5.

Dari R5 diperoleh $Z_5 = 0,5x + 0,25y + 4 = 25 + 125 + 4 = 154$

Dan $\mu_5 = 1$

f. Aturan R6

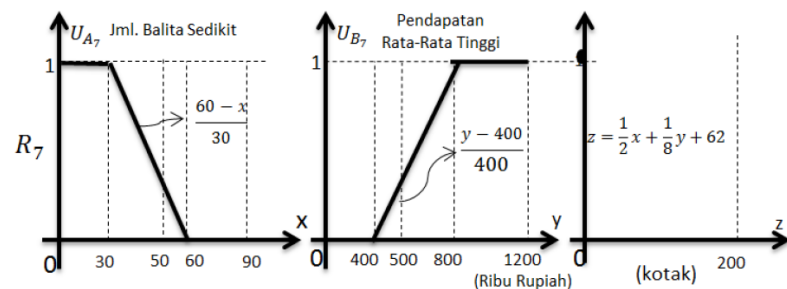


Gambar 15 Grafik Implikasi Aturan R6.

Dari R6 diperoleh $Z_6 = x + 0,25y - 33 = 50 + 0,25 \cdot 500 - 33 = 142$

Dan $\mu_6 = 0,75$

g. Aturan R7

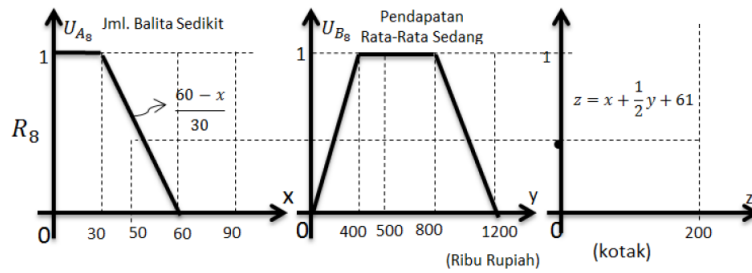


Gambar 16 Grafik Implikasi Aturan R7.

Dari R7 diperoleh $Z_7 = 0,2x + 0,125y + 62 = 10 + 62,5 + 62 = 150$

Dan $\mu_7 = 0,25$

h. Aturan R8

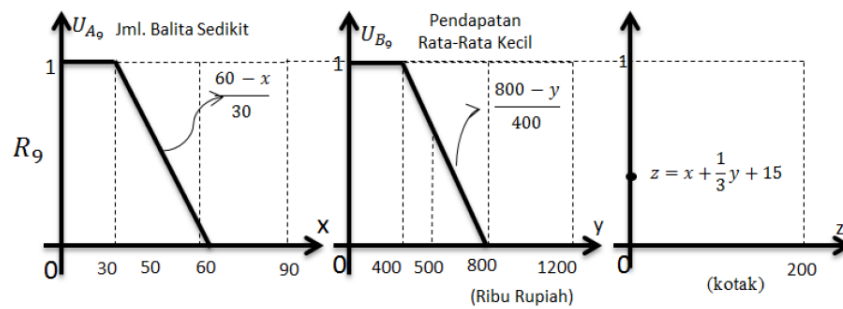


Gambar 17 Grafik Implikasi Aturan R8.

Dari R8 diperoleh $Z_8 = x + 0,5y + 20 = 50 + 0,5*500+61 = 361$

Dan $\mu_8 = 0,33$

i. Aturan R9



Gambar 18 Grafik Implikasi Aturan R9.

Dari R9 diperoleh $Z_9 = X + 0,33y + 15 = 50 + 0,33*500+15 = 232$

Dan $\mu_9 = 0,33$

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai kesimpulan dari defuzzyfikasi digunakan metode rata-rata terpusat fuzzyfikasi yaitu

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^9 \mu_i Z_i}{\sum_{i=1}^9 \mu_i}$$

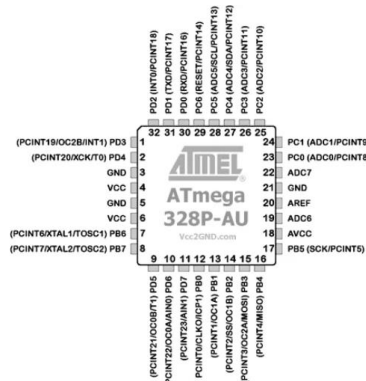
$$= \frac{0,25.170 + 0,66.204 + 0,25.122 + 1.154 + 0,75.142 + 0,25.150 + 0,33.361 + 0,33.232}{0,25 + 0,66 + 0,66 + 0,25 + 1 + 0,75 + 0,25 + 0,33 + 0,33}$$

$$= \frac{839}{4,5} = 186$$

Jadi perkiraan jumlah konsumsi susu yang dipasarkan (dialokasikan) adalah 186 kotak (Setiadji, 2009).

2.18 Microcontroller Atmega328

Microcontroller adalah suatu terobosan dalam teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer, perbedaannya *microcontroller* hanya digunakan untuk menangani suatu aplikasi tertentu. Perbedaan mikrocontroller lain terletak pada perbandingan RAM dan ROM. Komputer memiliki RAM dan ROM yang besar, tetapi pada *microcontroller* sangat terbatas. ROM pada *microcontroller* digunakan untuk menyimpan program, sedangkan RAM untuk menyimpan data sementara. *Microcontroller* terdiri dari ALU (*Aritmatic Logical Unit*), CU (*Control Unit*), PC (*Program Counter*), SP (*Stack Pointer*), *Register*, *Timer*, *Interupt*. Mikrocontroller juga dilengkapi dengan beberapa piranti pendukung lain seperti ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Accses Memory*), *decoder*, *communication interface*, *input/output* (I/O) serial atau parallel (Muchtar, 2017).

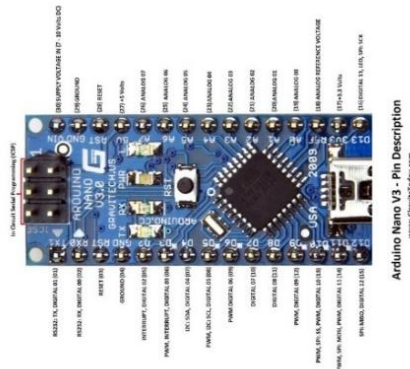


Gambar 19 Pin Mapping Atmega328

2.19 Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah board *microcontroller* yang didasarkan pada ATmega328. Arduino Nano mempunyai 14 pin digital *input/output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol reset. Arduino Nano memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang *microcontroller*, mudah menghubungkannya ke sebuah computer dengan sebuah

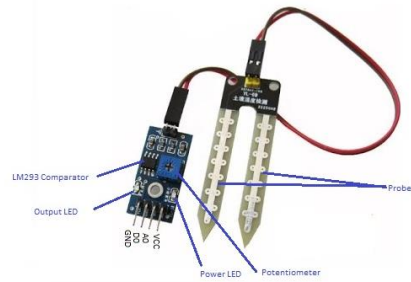
kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya (Mughtar, 2017).



Gambar 20 Pin out Arduino Nano

2.20 Sensor FC-28

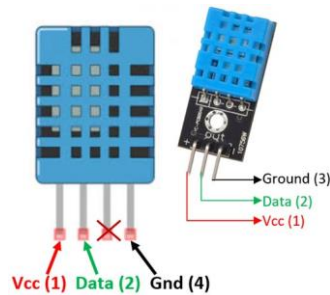
Soil moisture sensor FC-28 adalah sensor kelembaban yang dapat mendeteksi kelembaban dalam tanah. Sensor ini sangat sederhana, tetapi ideal untuk memantau taman kota, atau tingkat air pada tanaman pekarangan. Sensor ini terdiri dua *probe* untuk melewati arus melalui tanah, kemudian membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban. Semakin banyak air membuat tanah lebih mudah menghantarkan listrik (*resistansi* kecil), sedangkan tanah yang kering sangat sulit menghantarkan listrik (*resistansi* besar). Sensor ini sangat membantu untuk memantau tingkat kelembaban pada tanaman atau memantau kelembaban tanah.[2] *Soil moisture sensor FC-28* memiliki spesifikasi tegangan *input* sebesar 3.3V atau 5V, tegangan *output* sebesar $0 \pm 4.2V$, arus sebesar 35 mA, dan memiliki *value range* ADC sebesar 1024 bit mulai dari 0 ± 1023 bit. Adapun gambar *soil moisture sensor FC-28* dapat dilihat pada gambar 22. Prinsip kerja *moisture sensor* pada alat ini adalah dengan menanamkan satu buah sensor kelembaban pada tanah. Kerja sensor ini mendeteksi adanya tingkat kelembaban (Husdi,2018).



Gambar 21 Sensor FC-28

2.21 Sensor DHT11

Sensor DHT11 merupakan sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban. Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik, apalagi digandeng dengan kemampuan *microcontroller* ATmega8. Produk dengan kualitas terbaik, respon pembacaan yang cepat, dan kemampuan anti-interference, dengan harga yang terjangkau. DHT11 memiliki fitur kalibrasi yang sangat akurat. Koefisien kalibrasi ini disimpan dalam OTP program memory, sehingga ketika internal sensor mendeteksi sesuatu suhu atau kelembaban, maka module ini membaca koefisien sensor tersebut. Ukurannya yang kecil, dengan transmisi sinyal hingga 20 meter, membuat produk ini cocok digunakan untuk banyak aplikasi-aplikasi (Adiptya. 2013).



Gambar 22 Sensor DHT11

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Alat penelitian berisi daftar alat dan komponen yang dipakai dalam menjalankan penelitian. Terbagi menjadi dua yaitu, alat dan bahan, serta Komponen Proses. Adapun alat atau komponen yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah :

3.1.1 Komponen Elektronik

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan sistem untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Komponen perancangan sistem pintu air

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	<i>Microcontroller</i> Arduino Nano	Atmega328	1
2	Sensor FC-28	Range 0%-1000%	1
3	Sensor DHT11	Range 0°C -50°C	1
4	Motor	DC	1
5	<i>Breadboard</i>	400pin	1
6	Resistor	220 ohm	3
7	Kabel Dupont	-	40
8	USB Cable	Type B	1
9	LCD	16 X 2	1
10	L928N	Motor Driver	1
11	LED	RGY	3
12	Adaptor	9V	1

3.1.2 Komponen Proses

Adapun komponen untuk memproses sistem pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

A Perangkat Keras

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

- a. Prosesor : AMD Ryzen™ 5 2500U
- b. RAM : 8.00 GB

c. Monitor : 15,6" LED

d. Adaptor

B Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Windows 10

b. IDE Arduino 1.8.12

c. Fritzing. 0.9.3b.64.pc

d. Matlab 2017

e. Microsoft Office 2016

f. Sketchup 2018

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah tanah gambut yang diambil di daerah Landasan Ulin Utara, Liang Anggang, Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Tepatnya di titik koordinat $3^{\circ}25'30.4''S$ $114^{\circ}45'37.7''E$ didekat SMP 15 Banjarbaru. Diambil tiga sampel tanah gambut pada bagian sistem perakaran pakis yang masih tergenang air, dan dimasukkan masing-masing kedalam gelas plastik 500 ML. Serta data suhu udara daerah Banjarbaru. Pengambilan bahan disarankan oleh peneliti ahli bidang Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan.

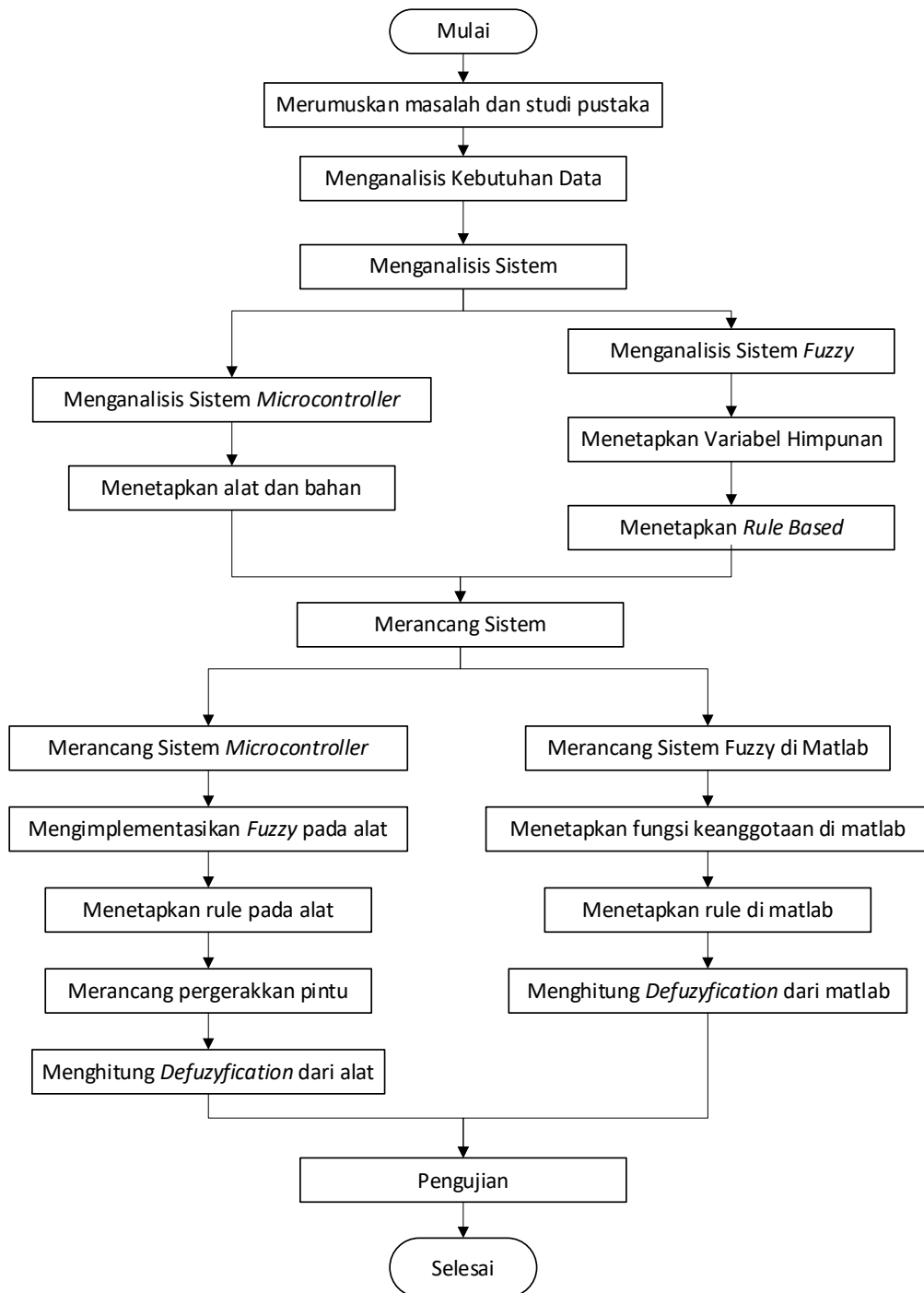
Untuk simulasi pada *Prototype* terdapat dua bahan yang diperlukan, yaitu untuk situasi perubahan kelembaban tanah digunakan *sponge* sebagai pengganti tanah, dan untuk keadaan suhu udara digunakan *hair dryer* untuk mengatur pergantian *termal*.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengujian berupa akurasi dari perbandingan nilai *Defuzzifikasi* pada sistem *Microcontroller Arduino* dengan nilai *Defuzzifikasi* pada Matlab menggunakan metode *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* .

3.4 Alur Penelitian

Adapun alur penelitian yang dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 23 :



Gambar 23 Diagram Alir Proses Penelitian

3.4.1 Perumusan Masalah dan Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui metode apa yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan diteliti, serta mendapatkan dasar-dasar referensi yang kuat dalam menerapkan suatu metode yang akan digunakan, yaitu dengan mempelajari buku-buku, artikel-artikel dan jurnal-jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas. Perumusan masalah berfungsi untuk mengetahui seberapa besar akurasi metode *Fuzzy Inference System Takagi Sugeno* dalam otomatisasi pintu irigasi untuk mengatur tinggi muka air tanah ideal lahan gambut, menggunakan implemmentasi *prototype* pintu air.

3.4.2 Analisis Kebutuhan Data

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada dua, yaitu variabel Kelembaban tanah gambut, dan suhu udara. Pemilihan dua variabel data yaitu kelembaban tanah gambut, dan suhu udara ini didasari pada 5 faktor cuaca yang memengaruhi perilaku api pada kebakaran hutan, yaitu angin, suhu udara, kadar air, kelembaban relatif, dan curah hujan, yang diambil dari buku “Pemahaman dan Solusi Masalah Kebakaran Hutan di Indonesia” oleh Akbar, 2016. Lalu berdasarkan jurnal “*Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin*” oleh Feng (2015), menyatakan bahwa suhu udara sangat berkontribusi dalam mempengaruhi keadaan kelembaban tanah dibandingkan dengan curah hujan, sehingga diambil dua variabel yaitu kelembaban tanah, dan suhu udara.

Untuk sampel data uji, pengumpulan data kelembaban tanah dan suhu udara dilakukan selama 15 hari di daerah Banjarbaru, dengan sampel lahan gambut yang diambil di daerah Liang Anggang, Kalimantan Selatan, tepatnya di titik koordinat 3°25'30.4”S 114°45'37.7”E didekat SMP 15 Banjarbaru. Perubahan kelembaban tanah dan suhu udara akan dicatat dua kali dalam satu hari yaitu jam 12.00 WITA (tengah hari) dan jam 00.00 WITA (tengah malam) selama 15 hari, pada keadaan luar ruangan tidak terkena hujan. Fungsinya adalah agar sama dengan kondisi keadaan tanah disaat tidak terkena hujan selama 15 hari.

Sampel tanah gambut yang diambil pada bagian sistem prakara pakis yang masih basah, dan dimasukkan masing-masing kedalam gelas plastik 500 ML, diberi label A, B, dan C. Fungsi pelabelan adalah untuk mendapatkan perbedaan hasil dari 3 (tiga) titik uji, sehingga data yang didapat lebih akurat. Data uji ini digunakan sebagai tolok ukur dalam pembuatan himpunan variabel *fuzzy*. Proses pengambilan data dapat dilihat di pada Gambar 24 dan Gambar 25.



Gambar 25 Proses pengambilan data saat siang.



Gambar 26 Proses pengambilan data saat malam.

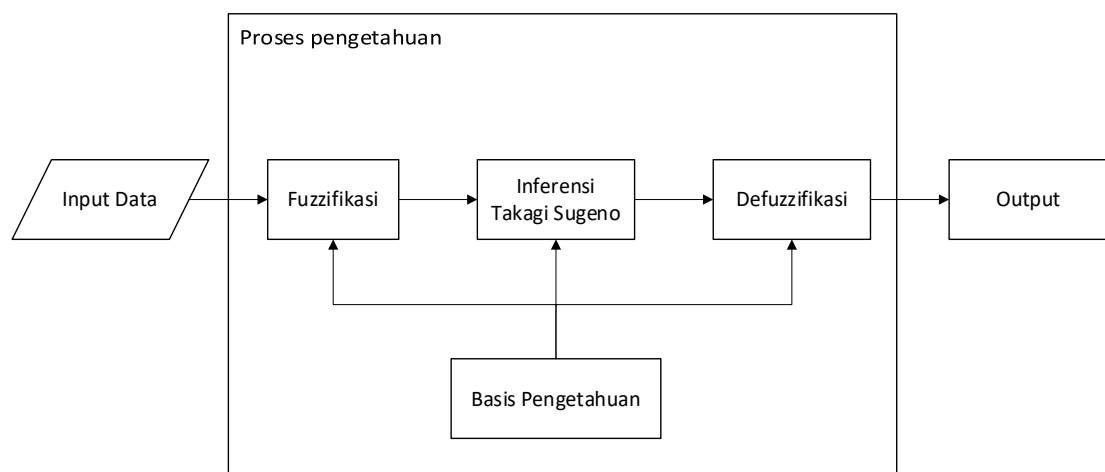
Data uji yang didapatkan selama 15 hari inilah yang akan menjadi acuan dalam pengambilan batasan Fungsi Keanggotaan pada *Fuzzy Inference System*, dan penentuan *rule based*.

3.4.3 Menganalisis Sistem

Setelah menentukan bidang penelitian yang dikaji dan melakukan pengumpulan data terkait dengan *Fuzzy Inference System* (FIS) Takagi-Sugeno untuk menentukan akurasi pintu air terhadap keadaan tanah, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis sistem, yang terdiri dari :

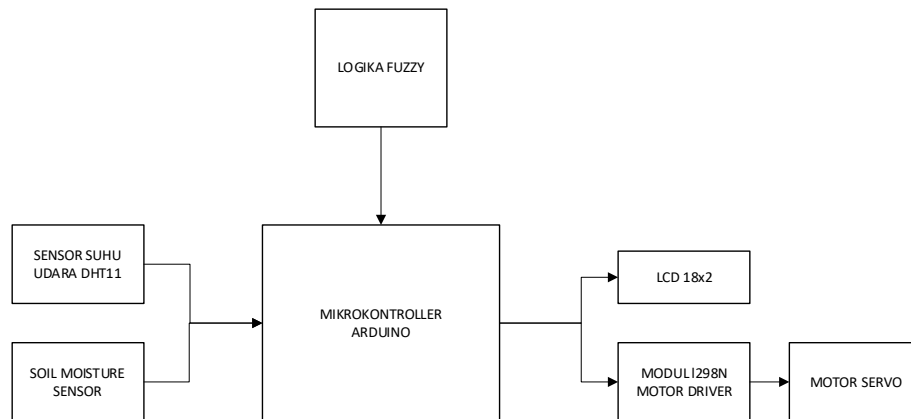
A. Sistem Fuzzy

Sistem *fuzzy* yang digunakan menggunakan sistem *fuzzy* inferensi takagi Sugeno yang akan diinputkan pada *Microcontroller* Arduino. Sistem inferensi *Fuzzy* adalah cara untuk memetakan ruang input menuju ruang output menggunakan logika *fuzzy*. Skema proses pengetahuan pada *Fuzzy* dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26 Proses pengetahuan *Fuzzy*.

Prosesnya adalah data inputan akan di-fuzzifikasi, kemudian dilakukan Inferensi menggunakan metode Takagi Sugeno, menghasilkan Defuzzifikasi, yang berdasarkan dari basis pengetahuan pakar. Hasil dari Defuzzifikasi ini yang akan dimasukkan kedalam *microcontroller*, sebagai proses pengetahuan. Pada Gambar 27 dapat dilihat berdasarkan sistem terdapat dua sensor sebagai input, yaitu sensor suhu udara, dan sensor kelembaban tanah. Nilai dari dua sensor ini akan diproses di *microcontroller* yang sudah terinput sistem cerdas, sehingga sistem ini akan menghasilkan output defuzzifikasi nilai dari sensor yang akan menggerakkan motor driver penggerak servo.



Gambar 27 Skema sistem

B. Sistem *Microcontroller*

Sistem *Microcontroller* akan diterapkan pada *prototype* pintu air yang dirancang sesuai dengan keadaan pintu air lahan gambut yang dibangun oleh pemerintah Provinsi Kalimantan Selatan di daerah Liang Anggang, seperti pada gambar 28.



Gambar 28 Penerapan pintu air pada lahan gambut di Liang Anggang.

Komponen utama untuk *prototype* tersusun dari, Arduino Nano sebagai *Microcontroller* yang memproses data dari sensor dengan metode *Fuzzy*, sensor DHT11 penerima input data dari suhu udara, sensor FC-28 penerima input data dari

kelembaban tanah gambut, serta Motor DC dan motor *Driver* sebagai *output* penggerak pintu air dengan tiga keadaan yaitu :

a. Pintu Irigasi Terbuka

Dengan kondisi keadaan lahan gambut terindikasi kering, motor DC akan bergerak membuka pintu air dengan delay 160 milisecond.

b. Pintu Irigasi Terbuka sedang

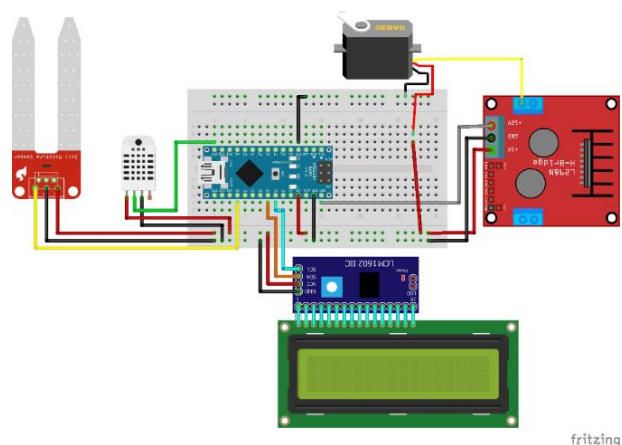
Dengan kondisi keadaan lahan gambut menuju kering, motor DC akan membuka pintu dengan delay 80 milisecond.

c. Pintu Irigasi Tertutup

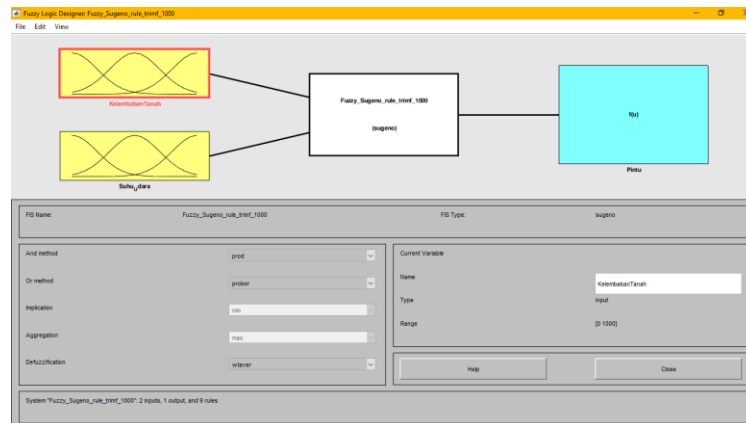
Dengan kondisi keadaan lahan gambut normal, motor DC akan menutup pintu air.

7.2.4 Perancangan Sistem

Setelah melakukan analisis, maka kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya. Perancangan sistem terbagi menjadi dua, yaitu perancangan *prototype* alat, dan sistem elektronik seperti pada gambar 30. Perancangan *software* akan berfokus pada perhitungan *FIS Takagi-Sugeno* menggunakan Matlab seperti pada gambar 30.



Gambar 29 Rancangan sistem elektronik.



Gambar 30 Rancangan sistem *Fuzzy*.

7.2.1 Pengujian Sistem

Pada pengujian sistem ini, dilakukan dengan melakukan percobaan pada 3 jenis keadaan pintu, yaitu terbuka, sedang, dan tertutup, dengan keadaan sensor yang diatur masing-masing dengan 3 jenis kondisi, yaitu :

- a. Suhu udara dingin, normal, dan terik
- b. Kelembaban tanah, kering, basah, dan terendam

Untuk mendapatkan kondisi-kondisi yang sudah disebutkan, maka diperlukan simulasi pada prototype pintu air yang telah dibuat. Adapun simulasi yang digunakan adalah dengan menggunakan konsep perubahan *termal*, dengan menggunakan alat pemanas berupa *hair dryer*, untuk menyesuaikan suhu udara. Sedangkan untuk kondisi kelembaban tanah, digunakan konsep perubahan *moisture* menggunakan *Sponge* untuk mengatur kondisi kelembaban yang diterima oleh Sensor.

Pengujian akan dilakukan dengan membandingkan hasil *Output* diri sistem *Microcontroller* atau alat yang sudah dirancang dengan *Fuzzy Sugeno* dengan hasil *output* pada Matlab, dengan hasil yang dikeluarkan berupa perbandingan *Defuzzifikasi*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui selisih *error* dan akurasi implementasi metode *Fuzzy Sugeno* pada alat sehingga menunjukkan bahwa sistem telah mampu bekerja sesuai dengan kebutuhan.

Pengujian *error* akan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*, yang merupakan ukuran perhitungan error, yang menyatakan persentase

kesalahan hasil pendugaan atau peramalan terhadap hasil aktual. Adapun rumus untuk pengujian *error* adalah sebagai berikut :

$$M = \sum_{t=1}^n \left| \frac{a_i - p_i}{p_i} \right| \times 100\%$$

Keterangan :

M = Mean Absolute Percentage Error

n = Jumlah Data

a = Nilai Hasil Aktual

p = Nilai Hasil Pendugaan

Semakin kecil nilai MAPE maka semakin kecil kesalahan hasil pendugaan, sebaliknya semakin besar nilai MAPE maka semakin besar kesalahan hasil pendugaan. Hasil suatu metode pendugaan mempunyai kemampuan peramalan sangat baik jika nilai MAPE < 10% dan mempunyai kemampuan pendugaan baik jika nilai MAPE diantara 10% dan 20%.

Sedangkan untuk persentase akurasi digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Hasil percobaan yang sesuai}}{\text{Total percobaan}} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan akurasi, selanjutnya dilakukan pemberian tingkat akurasi. Menurut Gorunescu (2011), standar tingkat akurasi dari hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

- a. Akurasi 90% - 100 % = *Excellent Classification*
- b. Akurasi 80% - 90% = *Best Classification*
- c. Akurasi 70% - 80% = *Fair Classification*
- d. Akurasi 60% - 70% = *Poor Classification*
- e. Akurasi 0% - 60% = *Failure*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dari penelitian yang sudah dilakukan maka dihasilkan sebuah pembahasan yang secara berurutan sesuai dengan prosedur atau alur penelitian.

4.1.1 Analisis Kebutuhan Data

Data diambil selama 15 hari, terhitung dari tanggal 19 Mei 2020 – 2 Juni 2020, dengan dua waktu pengambilan yaitu jam 00.00 WITA (tengah malam), dan 12.00 WITA (tengah hari). Dengan 3 (tiga) sampel kelembaban tanah gambut keadaan basah yang diletakkan pada keadaan tidak terkena hujan, fungsinya adalah agar serupa dengan kondisi keadaan tanah disaat tidak terkena hujan selama 15 hari.

Tabel 4 Hasil pengambilan data suhu udara dan kelembaban tanah.

No	Tanggal	Jam	Sample Tanah A		Sample Tanah B		Sample Tanah C	
			Suhu Udara (°C)	Kelembaban Tanah (%)	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Tanah (%)	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Tanah (%)
1	19 Mei 2020	00:00	27,8	499	28,1	429	28,6	488
		12:00	32,5	440	32,4	440	32,3	460
2	20 Mei 2020	00:00	28,2	409	28,8	356	28,1	407
		12:00	34,3	449	34	420	33	371
3	21 Mei 2020	00:00	28,6	410	28,3	416	28,2	435
		12:00	30,4	421	30,1	426	30,3	438
4	22 Mei 2020	00:00	28,7	459	28,2	399	27,9	413
		12:00	32,6	406	33,1	489	33,3	484
5	23 Mei 2020	00:00	28,8	435	28,8	402	28,8	448
		12:00	32,7	462	33,2	430	33,2	417
6	24 Mei 2020	00:00	29,6	470	28,9	418	28,6	392
		12:00	34,2	456	35,1	426	35,3	456
7	25 Mei 2020	00:00	29,3	448	28,9	358	28,9	370
		12:00	35,1	493	35,3	395	35,3	468
8	26 Mei 2020	00:00	29,1	396	28,6	399	28,5	438
		12:00	33,6	480	33,6	393	34,8	440
9	27 Mei 2020	00:00	30,3	406	29,8	348	29,8	409
		12:00	34,9	407	35,1	362	34,9	447
10	28 Mei 2020	00:00	28,6	451	28,6	352	28,4	435
		12:00	29,4	415	29,4	284	29,3	366
11	29 Mei 2020	00:00	27,8	369	26,5	279	26,4	309
		12:00	33,1	307	33,1	266	33,1	330

12	30 Mei 2020	00:00	27,6	297	28,1	258	27	317
		12:00	38,1	277	37,6	226	37,7	324
13	31 Mei 2020	00:00	28,8	257	28,6	230	28,5	313
		12:00	42,1	275	41,6	250	41	316
14	1 Juni 2020	00:00	28,6	273	28,3	238	28,2	313
		12:00	33	297	32,8	252	32,8	318
15	2 Juni 2020	00:00	29,3	299	28,8	247	28,6	263
		12:00	31,6	277	32,2	234	32,6	198

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai suhu udara tidak begitu banyak berubah pada setiap fase waktu. Pada malam hari, setiap jam 00:00, dengan kisaran 27°C -30°C, sedangkan saat jam 12:00 pada siang hari, suhu udara meningkat dari rentang 30°C sampai 41°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan waktu juga mempengaruhi pembacaan sensor suhu udara. Adapun untuk kelembaban tanah, tanah gambut yang diambil dari perakaran pakis dalam keadaan basah dengan nilai hampir 500%. Seiring waktu dengan keadaan tanah yang tidak mengalami pembasahan nilai ini kemudian turun secara bertahap sampai menyentuh angka 200%.

4.1.2 Analisis Sistem

A. Sistem Fuzzy

Pengambilan sampel data yang dilakukan selama 15 hari pada Tabel 4 , kemudian didiskusikan dengan peneliti ahli bidang Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan. Hasil yang didapatkan adalah berupa *range* himpunan per variabel yang dijadikan sebagai acuan parameter dalam *Fuzzy Sugeno*. Adapun *range* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 5 *Range* himpunan masing-masing variabel *Input*.

Variabel	Himpunan	Range
Kelembaban Tanah Gambut	Kering	0% - 300%
	Basah	300% - 600%
	Terendam	600% - 1000%
Suhu Udara	Dingin	0°C - 20°C
	Normal	20°C - 35°C
	Terik	35°C - 50°C

Adapun untuk *Output* Variabel Keadaan Pintu, ditetapkan dengan 3 (tiga) nilai *singleton* sebagai *range*. Ketetapan *Range* dapat dilihat pada Tabel 6, mengenai *range* himpunan variabel Keadaan Pintu yang berupa nilai *Singleton*.

Tabel 6 *Range* Himpunan Variabel *Output*.

Variabel	Himpunan	Range
Keadaan Pintu	Lebar	1
	Sedang	0,5
	Tutup	0

Dari *range* 3 variabel yang telah ditentukan, maka selanjutnya dapat dicari *rule* atau aturan yang digunakan sebagai basis pengetahuan untuk sistem yang akan dijalankan. Dengan menggunakan masing-masing variabel yang memiliki 3 himpunan, maka didapatkan hasil 9 (sembilan) aturan.

Tabel 7 Aturan yang dibentuk.

RULE		Suhu Udara		
		Dingin	Normal	Terik
Kelembaban	Kering	Sedang	Sedang	Lebar
	Basah	Tutup	Tutup	Sedang
	Terendam	Tutup	Tutup	Sedang

W1 = IF K = Kering AND SU = Dingin THEN KP Sedang

W2 = IF K = Kering AND SU = Normal THEN KP Sedang

W3 = IF K = Kering AND SU = Terik THEN KP Lebar

W4 = IF K = Basah AND SU = Dingin THEN KP Tutup

W5 = IF K = Basah AND SU = Normal THEN KP Tutup

W6 = IF K = Basah AND SU = Terik THEN KP Sedang

W7 = IF K = Terendam AND SU = Dingin THEN KP Tutup

W8 = IF K = Terendam AND SU = Normal THEN KP Tutup

W9 = IF K = Terendam AND SU = Terik THEN KP Sedang

Keterangan :

K = Kelembaban

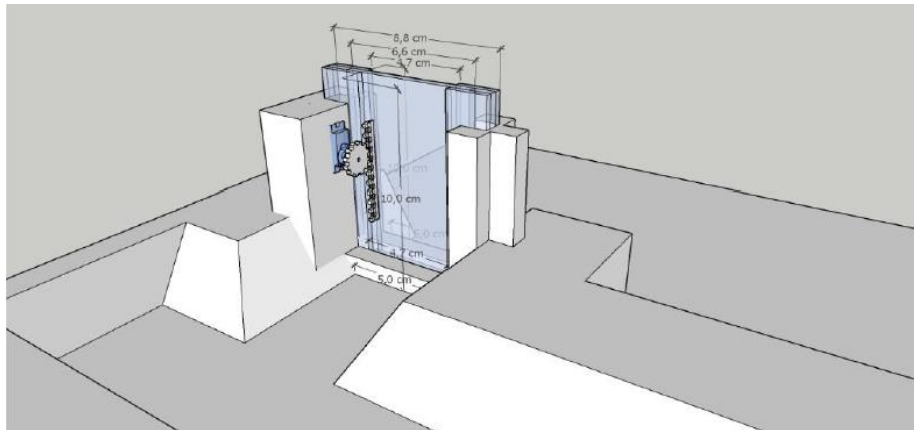
SU = Suhu Udara

KP = Keadaan Pintu

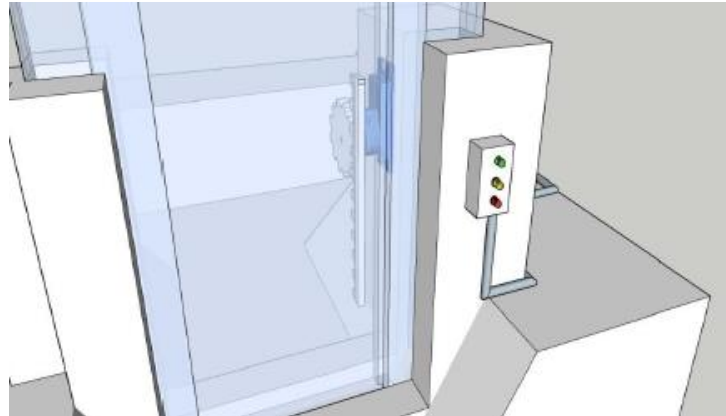
Adapun Operator yang digunakan dalam ketentuan *rule* ini adalah menggunakan Operator *AND*, sebagai hasil operasi dengan operator *AND* diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan variabe.

B. Sistem *Microcontroller*

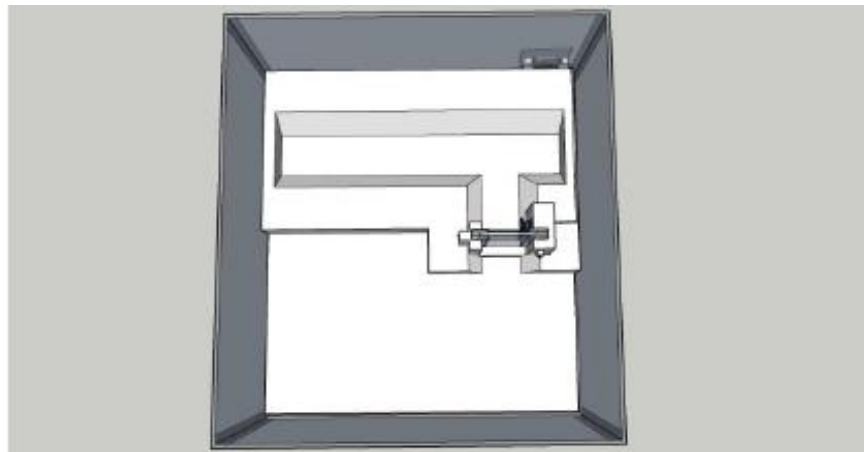
Berdasarkan pada rancangan elektronik pada gambar 30 maka dihasilkan sebuah *prototye* miniatur rancangan pintu air, dengan fungsi yang sesuai dengan penerapan sistem *Microcontroller*.



Gambar 31 Design 3D pintu air



Gambar 32 Bagian depan



Gambar 33 Bagian atas

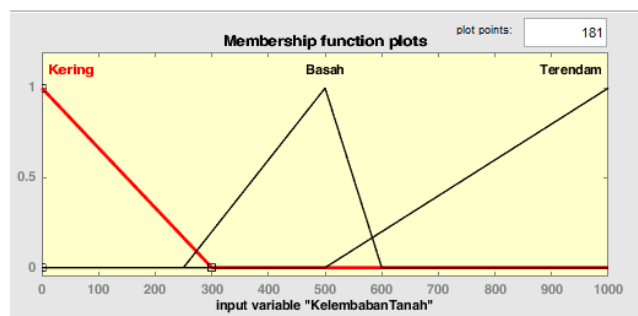


Gambar 34 Miniatur pintu air

4.1.3 Perancangan Sistem

A. Perancangan FIS Takagi Sugeno

Perancangan dibuat dengan *Software Matlab* dengan membuat himpunan *Fuzzy Input* berupa Kelembaban Tanah, dan Suhu Udara, serta himpunan *Fuzzy Output* berupa nilai *Singelton* Keadaan Pintu. Variabel Kelembaban Tanah terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Kering, Basah, dan Terendam. Himpunan keanggotaan *fuzzy* dituliskan sebagai berikut :



Gambar 35 Himpunan fuzzy keanggotaan Kelembaban Tanah

Himpunan Kelembaban Tanah (KT) pada kondisi Kering

$$\mu_{KT \text{ Kering}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x - 0}{0 - 0}, & 0 \leq x \leq 0 \\ \frac{300 - x}{300 - 0}, & 0 \leq x \leq 300 \\ 0, & x \geq 300 \end{cases}$$

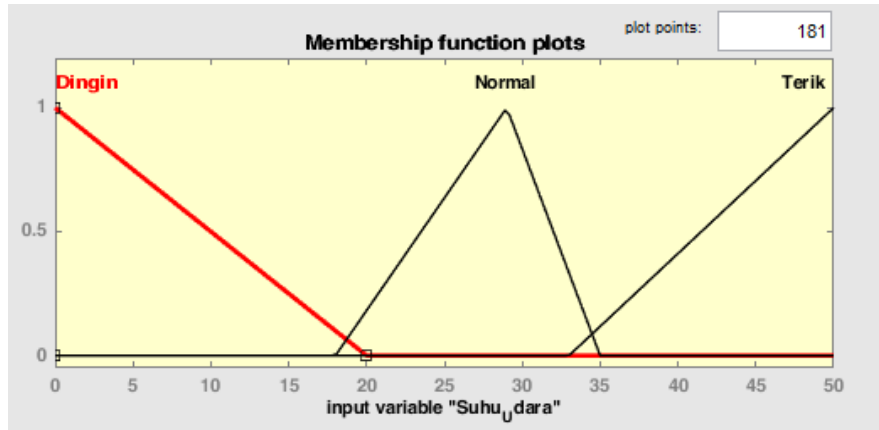
Himpunan Kelembaban Tanah (KT) pada kondisi Basah

$$\mu_{KT \text{ Basah}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 200 \text{ atau } x \geq 600 \\ \frac{x - 200}{400 - 200}, & 200 \leq x \leq 400 \\ \frac{600 - x}{600 - 400}, & 400 \leq x \leq 600 \end{cases}$$

Himpunan Kelembaban Tanah (KT) pada kondisi Terendam

$$\mu_{KT \text{ Terendam}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 550 \\ \frac{x - 550}{1000 - 550}, & 550 \leq x \leq 1000 \\ 1, & x \geq 1000 \end{cases}$$

Variabel Suhu Udara terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Dingin, Normal, Terik. Himpunan keanggotaan *fuzzy* dituliskan sebagai berikut :



Gambar 36 Himpunan fuzzy keanggotaan Suhu Udara

Himpunan Suhu Udara (SU) pada kondisi Dingin

$$\mu_{SU \text{ Dingin}}(x) = \begin{cases} \frac{20 - x}{20 - 0}; & 0 \leq x \leq 20 \\ 0; & x \geq 20 \end{cases}$$

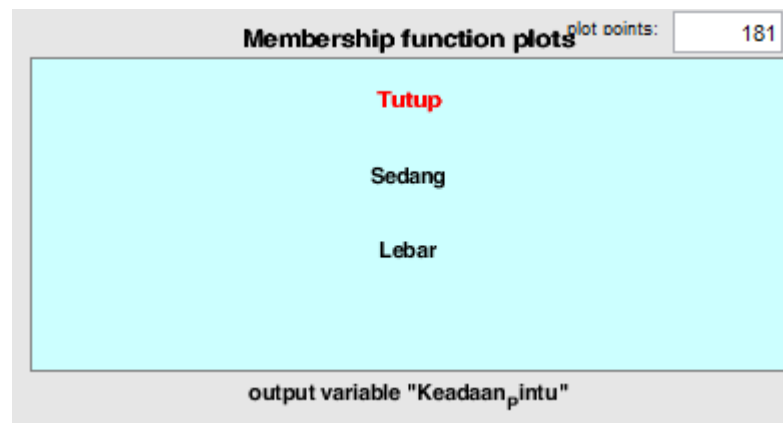
Himpunan Suhu Udara (SU) pada kondisi Normal

$$\mu_{SU \text{ Normal}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 18 \text{ atau } x \geq 35 \\ \frac{x - 18}{29 - 18}; & 18 \leq x \leq 29 \\ \frac{29 - x}{35 - 29}; & 29 \leq x \leq 35 \end{cases}$$

Himpunan Suhu Udara (SU) pada kondisi Terik

$$\mu_{SU \text{ Terik}}(x) = \begin{cases} 0; & x \leq 33 \\ \frac{x - 33}{50 - 33}; & 33 \leq x \leq 50 \\ 1; & x \geq 50 \end{cases}$$

Variabel Keadaan Pintu terdiri dari 3 himpunan keanggotaan yaitu Tutup, Sedang, dan Lebar. Nilai pada himpunan terdapat pada gambar 38.



Gambar 37 Himpunan fuzzy keanggotaan Keadaan Pintu

$C3 = 1$; = Keadaan Pintu Lebar

$C2 = 0,5$; = Keadaan Pintu Sedang

$C3 = 0$; = Keadaan Pintu Tutup

B. Perancangan *Microcontroller*

Fuzzy Sugeno yang sudah dirancang lewat *matlab* lalu diimplementasikan algoritmanya kedalam *microcontroller* Arduino. Dalam pemrograman Arduino terdapat dua fungsi utama, yaitu *Setup* dan *Loop*, serta dapat ditambahkan fungsi lain dengan memanggil “*library.h*”.

Dalam implementasi metode *Fuzzy Sugeno* pada *microcontroller*, yang patut diperhatikan adalah *code* untuk *Fuzzy Rule* dan pemilihan fungsi *code* untuk grafik himpunan. Lalu untuk *output* adalah berupa kontrol *motor DC* menggunakan *Motor Driver*, yang digerakkan berdasarkan *delay*. Adapun *Source Code* pada pemrograman Arduino adalah sebagai berikut :

a. *Rule Based*

Rule Based yang digunakan pada *float pintu* ini memiliki 9 aturan, dapat dilihat pada tabel 7, dengan 3 *Output singleton* seperti pada gambar 37. Pada fungsi ini, dirumuskan juga *defuzzification*, yang diambil dari hasil *rules* dan nilai *Singleton*. *Float pintu* ini akan dipanggil untuk proses nilai *input* menjadi *output*.

```
float pintu(float τ, float v){
float C3 = 1;
float C2 = 0.5;
float C1 = 0;
```

```

if(T>50) T=50;
// Fuzzy rules 600
float w1 = min (trimf(v, 0, 0, 300), trimf(T, 0, 0, 20));
...
float w9 = min (trimf(v, 550, 1000, 1000), trimf(T, 33, 50, 50));

// Defuzzyfication
float z = (w1*C2 + w2*C2 + w3*C3 + w4*C1 + w5*C1 + w6*C2 + w7*C1 + w8*C1
+ w9*C2)/(w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9);
return z;
}

```

Adapun rumus *Defuzzyfication* nya adalah sebagai berikut :

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^9 w_i C_i}{\sum_{i=1}^9 w_i}$$

$$Z = \frac{w_1 C_1 + w_2 C_2 + w_3 C_3 + w_4 C_1 + w_5 C_1 + w_6 C_2 + w_7 C_1 + w_8 C_1 + w_9 C_2}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 + w_9}$$

b. Grafik Himpunan

Pada penerapan dalam *code* grafik, himpunan yang diambil adalah grafik himpunan *triangular* atau segitiga. Dengan x sebagai variabel, a_tri sebagai titik awal, b_tri sebagai titik puncak, dan c_tri sebagai titik akhir. Fungsi *float trimf* ini akan dipanggil saat fungsi *rule* dijalankan. Disebutkan hasil bahwa Grafik *Wise Linear Function* : Gaussian dan Triangular memberikan kinerja yang lebih baik dan lebih simple, dan pada Research Zhao dan Bose (2002), mereka membandingkan grafik *Gaussian* dengan *Triangular* ini, dan hasilnya *Triangular* lebih baik dari *Gaussian*.

```

float trimf(float x_tri, float a_tri, float b_tri, float c_tri){
float f;
if(x_tri<=a_tri)
f=0;
...
else if(c_tri<=x_tri)
f=0;
return f;
}

```

Adapun rumus untuk himpunan *Triangular* adalah sebagai berikut :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Keterangan :

x = Variabel hitung

a = Titik awal dari kurva segitiga

b = Titik puncak dari kurva segitiga

c = Titik akhir dari kurva segitiga

c. Motor Kontrol

Fungsi *code* untuk mengoperasikan pintu akan di *include* pada library “*Motor_Control.h*” yang mana akan dipanggil pada *main program*. Fungsi ini akan menggerakkan motor dc sesuai dengan hasil *output defuzzyfication* pada penerapan *prototype* pintu air, dengan 3 (tiga) *void*, yaitu : *void BukaPintu()*, *void PintuSedang()*, dan *void PintuTutup()*. Dikarenakan sistem awal dari motor dc hanya menerima arus + dan -, maka diperlukan peran dari *Motor Driver* yang dapat mengatur laju, arah arus, dan keadaan motor dc.

Pengaturan pergerakan motor diatur dengan menghitung *delay* antara keadaan pintu tertutup dengan pintu terbuka, yang mana menghasilkan *delay* sebesar 160ms (milisecond) dari tutup ke buka dan sebaliknya, serta antara buka ke sedang, atau tutup ke sedang menghasilkan *delay* sebesar 80ms (milisecond), dengan PWM (*Pulse Width Modulation*) sebesar 255.

```
/*Pin untuk Motor Driver*/
int enB = 6;
int in3 = 7;
int in4 = 8;
int kon_pintu = 0;

void BukaPintu(){
  if(kon_pintu==3)//Tutup ke buka
  {
    digitalWrite(in3, LOW);//Naik
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogwrite(enB, 255);
    delay(160);
    kon_pintu = 1;//buka pintu
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    Serial.print("tutup ke buka ");
    Serial.println(kon_pintu);
  }
  else if(kon_pintu==2){ //sedang ke buka
    digitalWrite(in3, LOW);//Naik
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogwrite(enB, 255);
    delay(80);
    kon_pintu = 1;//buka pintu
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    Serial.print("sedang ke buka ");
  }
}
```



```

    Serial.println(kon_pintu);
  }
}

void PintuSedang(){
  if(kon_pintu==3) //Tutup ke sedang
  {
    ...
  }
  else if (kon_pintu==1) //buka ke sedang
  {
    ...
  }
}

void PintuTutup(){
  if (kon_pintu==1) //buka ke Tutup
  {
    ...
  }
  else if (kon_pintu==2) //sedang ke Tutup
  {
    ...
  }
}

```

Tiga fungsi (*void*) pada “*Motor_Control.h*” akan dipanggil pada *void loop()* di *main code* untuk menghasilkan kondisi yang sesuai dengan nilai *output defuzzyfication*. Dengan hasil $\geq 0,66$ untuk variabel pintu buka, hasil $0,33 - 0,66$, dan hasil $\leq 0,33$ untuk pintu tertutup. Pengambilan rentang nilai kondisi didasari oleh nilai *Output Singleton* seperti pada Tabel 6.

```

int f = 0;
if(comf>=0.66){
  Serial.println("Pintu Buka");
  digitalWrite(LM, HIGH);
  digitalWrite(LK, LOW);
  digitalWrite(LH, LOW);
  BukaPintu();
  kon_pintu = 1;
  f=3;
}
else if(comf<=0.66 && comf>=0.33){
  Serial.println("Pintu Sedang");
  digitalWrite(LK, HIGH);
  digitalWrite(LH, LOW);
  digitalWrite(LM, LOW);
  PintuSedang();
  kon_pintu = 2;
  f=6;
}
else{
  Serial.println("Pintu Tutup");
  digitalWrite(LH, HIGH);
  digitalWrite(LK, LOW);
  digitalWrite(LM, LOW);
  PintuTutup();
  kon_pintu = 3;
  f=9;
}}

```

4.1.4 Pengujian

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil dari *Fuzzy Sugeno* perhitungan Matlab, dengan hasil dari implementasi pada alat Arduino, untuk dilihat hasil dari kesesuaian pengimplementasian metode *Fuzzy Sugeno* pada Arduino. Dengan mencari nilai akurasi perbandingan, maka didapatkan suatu kesimpulan. Pengujian dilakukan dengan membuat simulasi perubahan kelembaban tanah, dan suhu udara. Agar menghasilkan data yang dibutuhkan dalam pengujian akurasi, maka nilai data yang diambil adalah 5 (lima) dari masing-masing himpunan variabel keadaan pintu, sehingga totalnya adalah 15 data.

Lebar bukaan pintu maksimal pada prototype adalah sebesar 7cm yaitu pada kondisi “Terbuka lebar” dengan indikator lampu berwarna merah, menandakan lahan sangat memerlukan air. Untuk kondisi “Terbuka sedang” pintu akan terbuka selebar 4cm menandakan lahan dalam keadaan basah, dengan indikator lampu berwarna kuning. Untuk kondisi tertutup lampu indikator akan berwarna hijau.

Untuk mendapatkan kondisi suhu udara dan kelembaban tanah yang sesuai serta efisien dalam segi waktu simulasi, maka digunakan spons sebagai alternatif pengganti tanah gambut. Selain agar mudah untuk mengatur kondisi kelembaban tanah, penggunaan spons juga didasari oleh keadaan sifat tanah gambut yang berdasarkan pernyataan Rifardi (2008) menyatakan bahwa gambut memiliki sifat seperti spons yang mudah menyerap dan menyimpan air dalam jumlah banyak. Pengontrolan keadaan sensor kelembaban dilakukan dengan menambahkan air dan memeras spons sehingga airnya berkurang.

Adapun untuk kondisi suhu udara, cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan pemanas berupa *hair dryer* seperti simulasi yang dilakukan pada penelitian oleh Harisuryo (2015). Dengan kondisi suhu udara normal ruangan adalah 30°C, maka dengan menggunakan pemanas kondisi suhu udara dapat diatur ke angka 50°C. Dari simulasi yang sudah dilakukan, maka didapatkan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8 Hasil pengujian implementasi pada *prototype* alat.

No	WAKTU	KELEMBABAN TANAH	SUHU UDARA	NILAI Z	SINGELTON
1	01:39:20	354,00	31	0	0

2	01:39:24	312,00	31	0	0
3	01:39:28	311,00	31	0	0
4	01:39:32	283,00	31	0,07	0
5	01:39:36	264,00	31	0,14	0
6	01:39:40	211,00	31	0,42	0,5
7	01:39:49	176,00	31	0,5	0,5
8	01:39:53	162,00	31	0,5	0,5
9	01:39:57	144,00	31	0,5	0,5
10	01:47:06	214,00	32	0,4	0,5
11	01:41:30	129,00	42	1	1
12	01:41:59	124,00	40	1	1
13	01:42:16	125,00	39	1	1
14	01:42:36	120,00	38	1	1
15	01:43:25	107,00	36	1	1

Setelah mendapatkan data pada *prototype* alat, selanjutnya dilakukan pengujian *variabel* pada *matlab*. Hasil pengujian *variabel* di *matlab* dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil pengujian *variabel* di *matlab*.

No	KELEMBABAN TANAH	SUHU UDARA	NILAI Z	SINGELTON
1	354,00	31	0,000	0
2	312,00	31	0,000	0
3	311,00	31	0,000	0
4	283,00	31	0,060	0
5	264,00	31	0,136	0
6	211,00	31	0,422	0,5
7	176,00	31	0,500	0,5
8	162,00	31	0,500	0,5
9	144,00	31	0,500	0,5
10	214,00	32	0,402	0,5
11	129,00	42	1,000	1
12	124,00	40	1,000	1
13	125,00	39	1,000	1
14	120,00	38	1,000	1
15	107,00	36	1,000	1

Setelah mendapatkan kedua hasil dari data, maka dapat dilakukan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil dari perhitungan *MAPE* dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10 Hasil perhitungan persentase *MAPE*.

NO	NILAI ARDUINO (a)	NILAI MATLAB (p)	$ (a-p)/a $
1	0	0,00	0
2	0	0,00	0
3	0	0,00	0
4	0,07	0,06	0,141428571
5	0,14	0,14	0,028571429
6	0,42	0,42	-0,004761905
7	0,5	0,50	0
8	0,5	0,50	0
9	0,5	0,50	0
10	0,4	0,40	-0,005
11	1	1,00	0
12	1	1,00	0
13	1	1,00	0
14	1	1,00	0
15	1	1,00	0
		Persentase MAPE	1,07%
		Akurasi	98,93 %

Dari perhitungan pada Tabel 10, dapat dihasilkan persentase error dari perbandingan hasil dari Nilai Implementasi *prototype* alat (Arduino) dengan Nilai dari Matlab. Persentase *MAPE* yang didapatkan adalah 1,07% dengan akurasi sebesar 98,93 %. Dengan melihat hasil dari *MAPE* dapat disimpulkan bahwa *Error* antara *prototype* alat (nilai aktual) dengan matlab (nilai pendugaan) *Error*-nya adalah kecil. Jika diasumsikan ketika lahan gambut terindikasi kering dengan tingkat kadar air < 100%, pintu akan terbuka secara akurat, dan membasahi lahan. Sehingga tingkat kadar muka air pada lahan gambut akan kembali normal, dan pintu akan menutup kembali.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Sistem pada prototype pintu air dapat bekerja otomatis sesuai dengan kondisi kelembaban tanah dan suhu udara sesuai dengan *9 rule based* pada *Fuzzy Sugeno*, yaitu pintu air dapat, tertutup, terbuka sedang, dan terbuka lebar, menyesuaikan dengan keadaan lingkungan tanah gambut. Pada perhitungan persentase *MAPE* dan akurasi dari implementasi *Fuzzy Inference System Takagi-Sugeno* pada otomatisasi pintu air irigasi, dari 15 data pengujian dengan masing-masing 5 himpunan, dari 3 variabel, didapatkan *error* sebesar 1,07 % dan akurasi sebesar 98,93%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode *Fuzzy Sugeno* dapat diimplementasikan pada *Prototype* Sistem Otomatisasi Pintu Air Irigasi dengan hasil yang sangat akurat.

5.2. Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah:

1. Metode *Fuzzy Sugeno* dapat diimplementasikan pada sistem otomatisasi kontrol dengan variabel yang sama.
2. *Output* sistem pintu dapat diganti dengan model dan bentuk pintu yang lain, sesuai dengan keadaan lingkungan lahan gambut.
3. Pada penerapan di lapangan, dapat digunakan sensor yang memiliki tingkat pembacaan lebih bagus.
4. Variabel kondisi dapat ditambahkan, dengan menggunakan variabel berdasarkan 5 faktor cuaca yang memengaruhi perilaku kebakaran, yaitu angin, suhu udara, kadar air, kelembaban relatif, dan curah hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiptya, M.Y.K., Wibawanto, H. 2013. Sistem Pengamatan Suhu dan Kelembaban pada Rumah Berbasis *Microcontroller* ATmega8. *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.5, No.1.
- Adinugroho, W.C. 2004. *Panduan Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan Gambut*, Wetlands International Indonesia Programme : Bogor.
- Agus, F. dan I.G. M. Subiksa. 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Agustin, A. H. Gandhiadi, G. K., & Oka, T. B, 2016. Penerapan Metode Sugeno Untuk Menentukan Harga Jual Sepeda Motor Bekas. *E-Jurnal Matematika*, 5(4), 176-182.
- Akbar, Acep. 2016. *Pemahaman dan Solusi Masalah Kebakaran Hutan di Indonesia*, Forda Press : Bogor.
- Alamsyah & I.H. Muna. 2016. Metode *Fuzzy Inference System* untuk Penilaian Kinerja Pegawai Perpustakaan dan Pustakawan. *Scientific Journal of Informatics*, 3(1): 88-98.
- Alfarisyi, H. 2020. Analisis Pembasahan Lahan Gambut akibat Pembangunan Sekat Kanal (Studi Kasus: Desa Lukun, Kabupaten Kepulauan Meranti), *Jurnal Teknik*, Vol 14, No 1.
- Alfita, R., Mamlu'ah, D., Ulum, M., & Nahari, R. V. 2017. Implementation of *Fuzzy Sugeno* Method for Power Efficiency. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 4(9): 1-5.
- Azmi, T. U., Haryanto, H., & Sutojo, T. 2018. Prediksi Jumlah Produksi Jenang di PT Menara Kudus Menggunakan Metode Logika *Fuzzy* Tsukamoto. *Jurnal Ilmiah SISFOTENIKA*, 8(1): 23-34.
- Bandyopadhyay, S., Mistri, H., dkk. 2013. Antenna Array Side Lobe Reduction by Implementing Non – Uniform Amplitude Using Tsukamoto *Fuzzy Logic* Controller. *International Journal of Electronics & Communication Technology*. 4(1): 54-57.
- Bonnett, S. A., Ross, S., Linstead, C. and Maltby, E. and Natural England .2009. *A review of techniques for monitoring the success of peatland restoration*. Technical Report. Natural England, SWIMMER.

- Bragg, O.M. 2002. Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland. *The Science of the Total Environment* 294 (2002) 111–129.
- Dariah, A. 2014. *Pengelolaan Tata Air Lahan Gambut, Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*, Balai Penelitian Tanah : Bogor.
- Farmadi, A. 2017. Sistem *Fuzzy Logic* Tertanam pada Mikrokontroler untuk Penyiraman Tanaman pada Rumah Kaca, *Kumpulan jurnal Ilmu Komputer*, Vol 04, No.02.
- Febrianto, A. 2008. *Analisis Kualitas Program Air Bersih pada Logam Cadmium Menggunakan Logika Fuzzy Metode Sugeno*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Febrianti, Nur. 2018. Permodelan Tinggi Muka Air Gambut Berdasarkan Sifat Fisik Lahan Gambut. *Journal of Soil Science and Environment*, Vol.20, No.2.,
- Feng, H. 2015. Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin, *Journal of Hidrology*, Vol 531, No 3.
- Gaddafi, M. 2016. *Analisis Perbandingan Metode Tsukamoto dan Mamdani dalam Optimasi Produksi Barang*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Gorunescu, Florin. 2011. *Data Mining : Concepts and Techniques*. Romania : Springer.
- Hadiyanti, W.A., Honggowibowo, A.S., & Suhayati, M. 2013. Analisis Perbandingan Metode *Fuzzy* Inferensi Sistem Tsukamoto dan Mamdani dalam Penentuan Estimasi Jumlah Produksi Gula. *Jurnal Compiler*. 2(1):151-162.
- Harisuryo, R. 2015. Sistem Pengukuran Data Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Udara dengan Telemetri berbasis Frekuensi Radio. *Transient*, Vol.4 No.3
- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W. A. Lee, X. X. Lu, A. Idris and G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences*, 9, 1053–1071, 2012.
- Husdi. 2018. Monitoring Kelembaban Tanah Pertanian Menggunakan Soil Moisture Sensor Fc-28 Dan Arduino Uno. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, Vol.10, No.2.

- Irfan, M. S. 2016. *Implementasi Logika Fuzzy Inference System Metode Sugeno Pada Penentuan Jumlah Produksi Sarung. Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Jang, J.S.R. et al. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. London: Prentice Hall.
- Kusumadewi, S. 2002. *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox MATLAB*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, S. & Hartati, S. 2010. *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lamrabet, O., Ech-charqy, A., dkk. 2019. Sampled data Control for Takagi-Sugeno Fuzzy System with Actuator Saturation. *Second International Conference on Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS 2018)*. (148): 448–454.
- Lee, K. H. 2005. *First Course on Fuzzy Theory and Applications*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lin, Chin Teng & Lee, GS George. 1996. *Neural Fuzzy Systems*. London: Prentice Hall.
- Mahmud, Z. 2016. *Analisa Perbandingan Metode Sugeno Dan Mamdani Dalam Sistem Prediksi Cuaca (Studi Kasus BMKG Kelas III Tanjungpinang)*.
- Muchtar, H., Hidayat, A. 2017. Implementasi Wavecom Dalam Monitoring Beban Listrik Berbasis *Microcontroller*. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, Vol.9, No.1.
- Naron,. 2019. Perancangan Logika Fuzzy Untuk Sistem Pengendali Kelembaban Tanah dan Suhu Tanaman. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, Vol 3, No 4, hlm 307-312.
- Noor, M., Masganti, dan Fahmuddin Agus. 2014. Pembentukan dan Karakteristik Gambut Tropika Indonesia. Dalam: Lahan Gambut Indonesia Pembentukan, arakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan. *IAARD Press*, Jakarta. ISBN 978-602-344-034-4.
- Novianto, R. 2016. *Pemodelan dan Analisis Kendali Suhu Ruangan dengan Logika Fuzzy Menggunakan Matlab*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Nurkholis, A., Suci, A., dkk., 2018. *Analisis Temporal Kebakaran Hutan dan Lahan di Indonesia Tahun 1997 dan 2015 (Studi Kasus Provinsi Riau)*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.

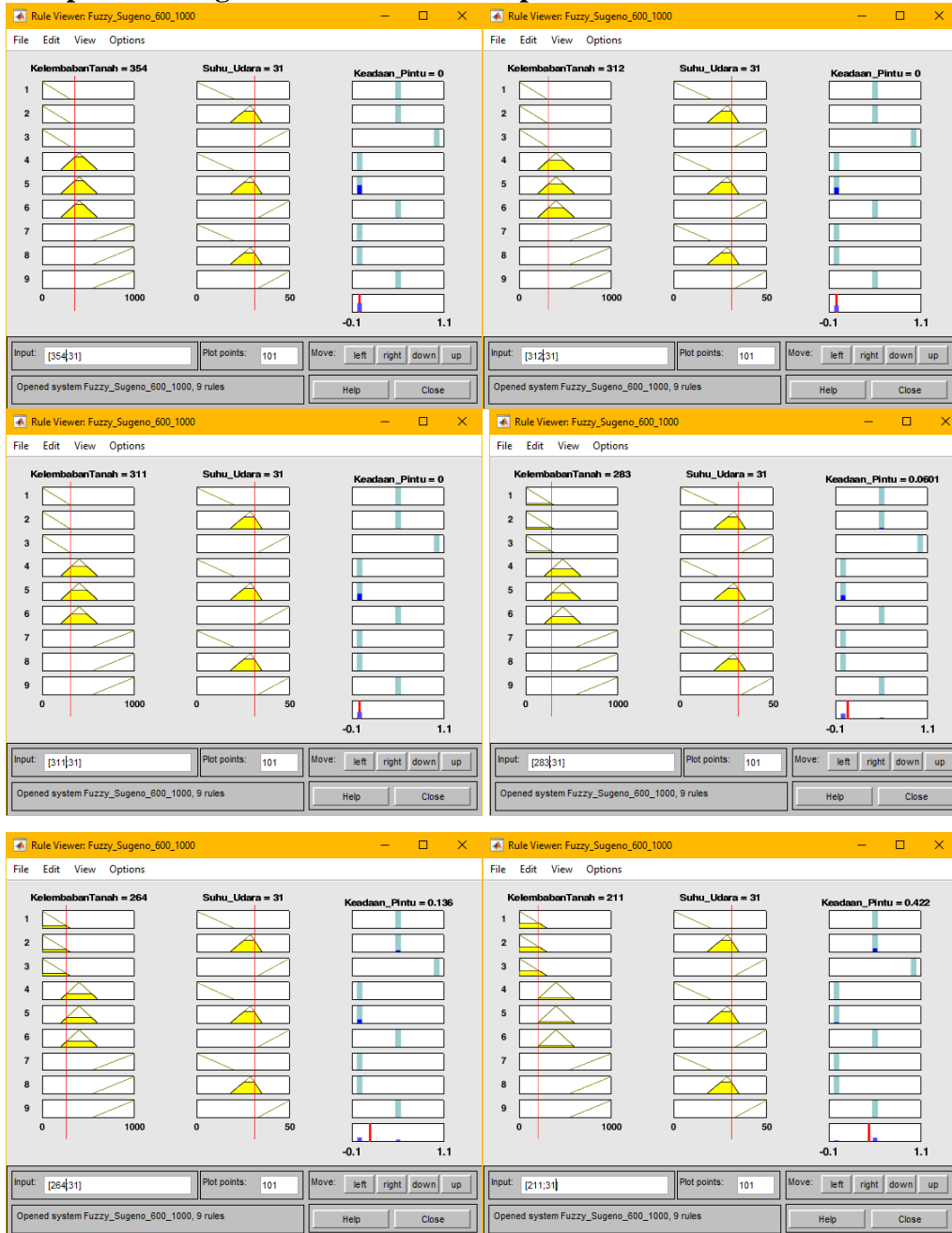
- Pemerintah Indonesia. 2016. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 57 Tahun 2016, tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut*. Sekretariat Negara : Jakarta.
- Pradana, R. 2016. Metode *Fuzzy Logic* Dalam Konsep Irigasi Air Dengan *Microcontroller Arduino*, *Jurnal Telematika MKOM*, Vol 8, No 2.
- Purwandito, R. 2017. Penerapan Sistem Inferensi *Fuzzy* Metode Mamdani untuk Penentuan Jumlah Produksi Barang. *Skripsi*. Semarang:Universitas Negeri Semarang.
- Purwandito, R., Suyitno H., & Alamsyah. 2019. Penerapan Sistem Inferensi *Fuzzy* Metode Mamdani untuk Penentuan Jumlah Produksi Barang. *UNNES Journal of Mathematics*, 8(1): 1-10.
- Puspita, E.S. 2016. Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Logika *Fuzzy*, *Jurnal Media Infotama*, Vol 12, No 1.
- Rahman, A. & Yuliani, F. 2018. *Metode Restorasi Gambut Dalam Konteks Mitigasi Bencana Kebakaran Lahan Gambut Dan Pemberdayaan Masyarakat*, Vol 4, No 2 : Sosio Informa.
- Rais, D., Satriadi. 2011. *Hidrologi Lahan Gambut dan Peranannya dalam Kelestarian Lahan Gambut Tropis*. Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi.
- Renstra Brg, 2016. *Rencana Strategis Badan Restorasi Gambut 2016-2020*. Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia : Jakarta.
- Rifardi, 2008. Degradasi Ekologi Sumberdaya Hutan dan Lahan. *Jurnal Bumi Lestari*, Vol. 8, No 2, Hal. 145-154.
- Rofiq, M. 2013. Perancangan Manajemen *Bandwidth* Internet Menggunakan Metode *Fuzzy Sugeno*. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi ASIA*, 7(1): 1-15.
- Sabiham, S., Wahyunto, Nugroho, Subiksa dan Sukarman, 2008. *Laporan Tahunan 2008*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Salman, A. G. 2010. Pemodelan Sistem *Fuzzy* dengan Menggunakan Matlab. *ComTech*. 1(2): 276-288.

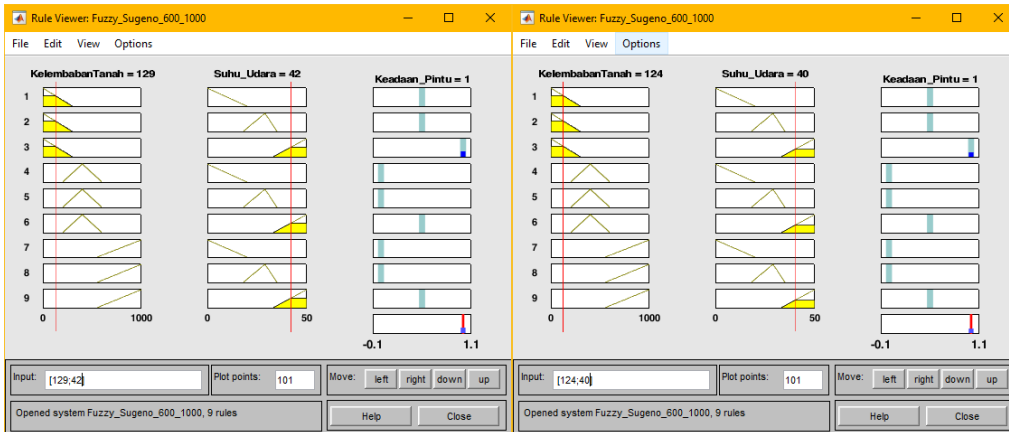
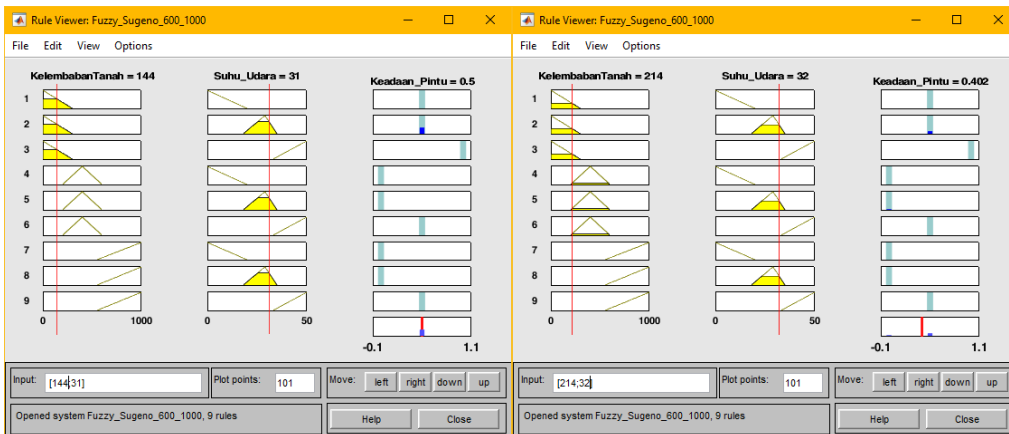
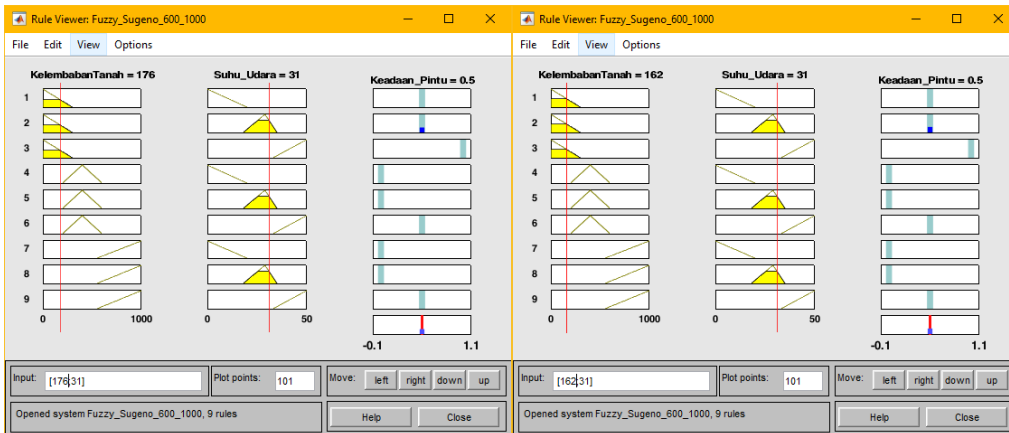
- Santoso, T.B. 2017. Analisa Komparasi Metode Mamdani, *Sugeno* Dan Tsukamoto Pada *Fuzzy Inference Sistem* Untuk Pengurangan Konsumsi Energi Listrik Mesin Cuci. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi*, 208-216.
- Schumann, M. & Joosten, H. 2008. *Global Peatland Restoration Manual*. Institute of Botany and Landscape Ecology, Griefswald University, Germany.
- Setiadji. 2009. *Himpunan & Logika Samar serta Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Setiawan, A., Yanto, B., & Yasdomi, K. 2018. *Logika Fuzzy dengan Matlab*. Bali: Jayapangus Press.
- Sitio, S.L.M. 2018. Penerapan *Fuzzy Inference System Sugeno* Untuk Menentukan Jumlah Pembelian Obat (Studi Kasus: Garuda Sentra Medika). *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 3(2): 104-109.
- Sobran, N.M.M., dkk., 2018. *Fuzzy Takagi-Sugeno Method In Microcontroller Based Water Tank System*, *IJRA*, Vol. 7, No. 1.
- Sunardi, T.H. 2015. Penggunaan Metode *Fuzzy Takagi-Sugeno* Di Arduino Uno Untuk Pengendali Pintu Dan Pompa Air, *Jurnal Dinamika Informatika*, Vol 7, No 1.
- Susilo, F. 2006. *Himpunan dan Logika Kabur serta Aplikasinya Edisi Kedua*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Syahputra, D., & Muhathir. 2018. Perhitungan Metode *Fuzzy Sugeno* Dan Antropometri Dalam Memprediksi Status Gizi Indeks Massa Tubuh. *Journal of Informatics And Telecommunication Engineering*, 2(1): 16-22.
- Thamrin, F. 2012. Studi Inferensi *Fuzzy Tsukamoto* untuk Penelitian Faktor Pembebanan Trafo PLN. . Semarang: Universitas Diponegoro.
- Triadi, L.B. 2020. Monitoring dan Upaya Mengendalikan Muka Air pada Perkebunan di Lahan Rawa Gambut di Indonesia, *Jurnal Teknik Hidrolik*, Vol 9, No 1.
- Turban, E., J.E. Aronson & T. Liang. (2007). *Decision Support Systems and Intelligent Systems 7th Edition* . New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.
- Wang, J., Liang, J., & Dobaie, A. 2018. Stability Analysis and Synthesis for Switched Takagi-Sugeno Fuzzy Positive System Described by The Roesser Model. *Fuzzy Set Syztem*.

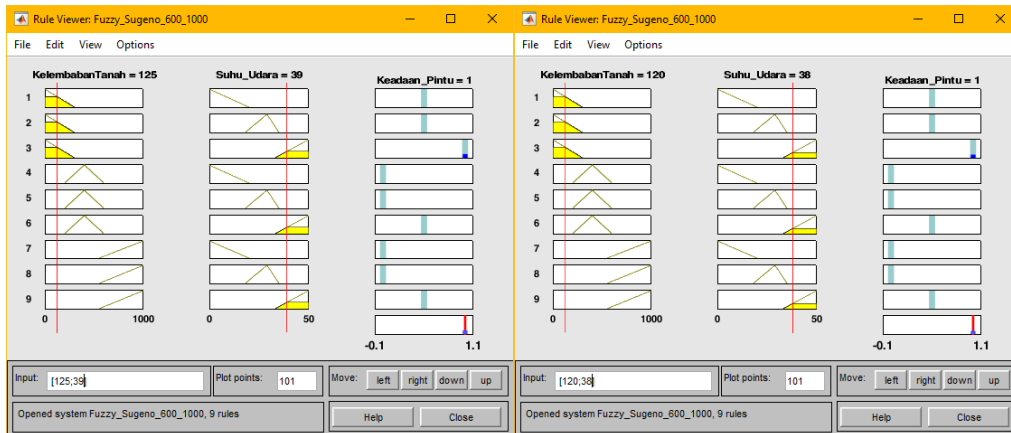
- Wang, L.X. 1997. *A Course in Fuzzy System and Control*. United State: Prentice-Hall, Inc
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1988. *Masalah tanaman di lahan gambut. Makalah disajikan dalam Pertemuan Teknis Penelitian Usahatani Menunjang Transmigrasi*. Cisarua, Bogor, 27-29 Februari 1988. 16 hal.
- Wösten JHM, Ismail AB, Van Wijk ALM, 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78:25–36.
- Wösten JHM, Hooijer A, Siderius C, Rais DS, Idris A, Rieley JO 2006. Tropical peatland water management modelling of the Air Hitam Laut catchment in Indonesia. *International Journal of River Basin Management*, 4(4), 233–244.
- Yulianto, A.W., Hardi, S., & Mashuri. 2012. Aplikasi *Fuzzy* Linear Programing dalam Optimalisasi Produksi. *UNNES Journal of Mathematics*, 1(1): 1-7.
- Zadeh, L. A. 1965. *Information and Control Fuzzy Sets*. Vol. 8. Page: 338-353.
- Zadeh, L. A. 1962. Proceedings of the IRE. *Fro Circuit Theory to System Theory*. 1: 45-55.
- Zhao, J., Bose, B. 2002. Evaluation of Membership Functions for *Fuzzy Logic* Controlled induction Motor Drive. *IECON 02*, Vol.1

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengambilan data variabel pada matlab







Lampiran 2 Pengambilan data variabel pada Arduino

1	WAKTU	SOIL MOISTURE	TEMPERATURE	COMF	NILAI PINTU
2	01:38:55	501,00	31	0,5	0,5
3	01:38:59	489,00	31	0	0
4	01:39:03	109,00	31	0,5	0,5
5	01:39:08	484,00	31	0	0
6	01:39:12	440,00	31	0	0
7	01:39:16	422,00	31	0	0
8	01:39:20	354,00	31	0	0
9	01:38:63	312,00	31	0	0
10	01:38:67	311,00	31	0	0
11	01:39:03	283,00	31	0,07	0
12	01:39:08	264,00	31	0,14	0
13	01:39:12	211,00	31	0,42	0,5
14	01:39:16	199,00	31	0,5	0,5
15	01:39:20	176,00	31	0,5	0,5
16	01:38:71	162,00	31	0,5	0,5
17	01:38:75	144,00	31	0,5	0,5
18	01:39:03	158,00	31	0,5	0,5
19	01:39:08	170,00	31	0,5	0,5
20	01:39:12	167,00	31	0,5	0,5
21	01:39:16	162,00	31	0,5	0,5
22	01:39:20	158,00	31	0,5	0,5
23	01:38:79	154,00	32	0,5	0,5
24	01:38:83	155,00	32	0,5	0,5
25	01:39:03	153,00	33	0,5	0,5
26	01:39:08	152,00	34	0,5	0,5
27	01:39:12	151,00	36	1	1
28	01:39:16	129,00	42	1	1
29	01:39:20	124,00	40	1	1
30	01:38:87	125,00	39	1	1
31	01:38:91	120,00	38	1	1
32	01:39:03	105,00	37	1	1
33	01:39:08	107,00	36	1	1
34	01:39:12	99,00	35	0,5	0,5
35	01:39:16	96,00	35	0,5	0,5
36	01:39:20	95,00	35	0,5	0,5
37	01:38:95	95,00	35	0,5	0,5
38	01:38:99	109,00	35	0,5	0,5
39	01:39:03	236,00	35	0,27	0
40	01:39:08	446,00	35	0,5	0,5
41	01:39:12	393,00	34	0	0
42	01:39:16	381,00	34	0	0
43	01:39:20	359,00	34	0	0
44	01:38:103	347,00	34	0	0
45	01:38:107	348,00	34	0	0
46	01:39:03	357,00	34	0	0
47	01:39:08	352,00	34	0	0
48	01:39:12	342,00	34	0	0
49	01:39:16	343,00	34	0	0
50	01:39:20	376,00	34	0	0
51	01:38:111	380,00	34	0	0
52	01:38:115	380,00	34	0,5	0,5
53	01:39:03	361,00	34	0,5	0,5
54	01:39:08	358,00	33	0	0
55	01:39:12	367,00	33	0	0
56	01:39:16	364,00	33	0	0

57	01:39:20	363,00	33	0	0
58	01:38:119	360,00	33	0	0
59	01:38:123	343,00	33	0	0
60	01:39:03	339,00	33	0	0
61	01:39:08	340,00	33	0	0
62	01:39:12	341,00	33	0	0
63	01:39:16	355,00	33	0	0
64	01:39:20	367,00	33	0	0
65	01:38:127	366,00	33	0	0
66	01:38:131	366,00	33	0	0
67	01:39:03	240,00	33	0,25	0
68	01:39:08	365,00	33	0	0
69	01:39:12	0,00	33	nan	1
70	01:39:16	5,00	33	1	1
71	01:39:20	1,00	33	1	1
72	01:38:135	27,00	33	1	1
73	01:38:139	72,00	32	0,5	0,5
74	01:39:03	237,00	32	0,27	0
75	01:39:08	440,00	32	0	0
76	01:39:12	417,00	32	0	0
77	01:39:16	413,00	32	0	0
78	01:39:20	411,00	32	0	0
79	01:38:143	400,00	32	0	0
80	01:38:147	399,00	32	0	0
81	01:39:03	398,00	32	0	0
82	01:39:08	264,00	32	0,14	0
83	01:39:12	266,00	32	0,13	0
84	01:39:16	491,00	32	0	0

Lampiran 3 *Library dan Define Arduino*

```
#include <UnowifiDevEd.h>
#include <Wire.h>
#include <math.h>
#include "dht.h"
#include "Motor_Control.h"
#include "LCD_Display.h"

dht DHT;
//float t = DHT.temperature;
float trimf(float x_tri, float a_tri, float b_tri, float c_tri); // fungsi
keanggotaan fuzzy triangular
float pintu(float t, float h); // fungsi pendefinisian perhitungan status
pintu

/*Pin untuk LED*/
int LH =2; //Led Hijau
int LK =4; //Led Kuning
int LM =3; //Led Merah
```

Lampiran 4 *Source Code Void Setup()*

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();

  pinMode(LH, OUTPUT);
  pinMode(LK, OUTPUT);
  pinMode(LM, OUTPUT);

  pinMode(enB, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);

  digitalWrite(LH, LOW);
  digitalWrite(LK, LOW);
  digitalWrite(LM, LOW);

  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, LOW);

  /*Membuat kolom tabel untuk Parallax*/
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL, WAKTU, SOIL MOISTURE, TEMPERATURE, COMF, NILAI
PINTU");
  Serial.println("RESETTIMER");
}
```

Lampiran 5 *Source Code Void Loop()*

```
void loop() {
  // input variabel sensor
  DHT.read11(A1);
  float t = DHT.temperature;
```

```

float h = 1023-analogRead(A0); // membaca sensor Soil moisture
float comf = pintu(t,h); // Perhitungan Penyiraman

// Serial Monitor Print
Serial.print("Soil_Most : ");
Serial.print(h); //Value Kelembaban Tanah
Serial.print(" \t");
Serial.print("Temp : ");
Serial.print(t); //Value Suhu Udara
Serial.print(" *C");
Serial.print(" \t");
Serial.print("Comf : ");
Serial.print(comf);
Serial.print(" \t");
Serial.print(" \t");
Serial.println("");
delay(4000);

//Mengirim data ke Excel dengan Parallax
Serial.print("DATA, TIME, ");
Serial.print(h);
Serial.print(", ");
Serial.print(t);
Serial.print(", ");
Serial.print(comf);
Serial.println(", ");

//Menampilkan data ke LCD
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("SM:");
lcd.print(h);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T:");
lcd.print(t);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("DFZ:");
lcd.print(comf);

int f = 0;
if(comf>=0.66){
  Serial.println("Pintu Buka");
  digitalWrite(LM, HIGH);
  digitalWrite(LK, LOW);
  digitalWrite(LH, LOW);
  BukaPintu();
  kon_pintu = 1;
  f=3;
}
else if(comf<=0.66 && comf>=0.33){
  Serial.println("Pintu Sedang");
  digitalWrite(LK, HIGH);
  digitalWrite(LH, LOW);
  digitalWrite(LM, LOW);
  PintuSedang();
  kon_pintu = 2;
  f=6;
}
else{
  Serial.println("Pintu Tutup");
  digitalWrite(LH, HIGH);

```

```

digitalWrite(LK, LOW);
digitalWrite(LM, LOW);
PintuTutup();
kon_pintu = 3;
f=9;
}
}

```

Lampiran 6 Fungsi *Triangular*

```

// Function membership TRIMF
// x_tri = our variable (measurement of temperature or relative humidity)
// a_tri = starting point of triangle
// b_tri = peak of triangle
// c_tri = ending point of triangle

float trimf(float x_tri, float a_tri, float b_tri, float c_tri){
    float f;
    if(x_tri<=a_tri)
        f=0;
    else if((a_tri<=x_tri)&&(x_tri<=b_tri))
        f=(x_tri-a_tri)/(b_tri-a_tri);
    else if((b_tri<=x_tri)&&(x_tri<=c_tri))
        f=(c_tri-x_tri)/(c_tri-b_tri);
    else if(c_tri<=x_tri)
        f=0;
    return f;
}

```

Lampiran 7 Fungsi pintu dan *Rule*

```

float pintu(float t, float h){
    float c3 = 1; // singleton buka pintu
    float c2 = 0.5; // singleton pintu sedang
    float c1 = 0; // singleton pintu tutup
    if(t>50) t=50; //Jika temp diatas 50°C, setting suhu ke maksimum

    // Fuzzy rules 600
    float w1 = min (trimf(h, 0, 0, 300), trimf(t, 0, 0, 20)); //
    If(KT is Kering) And (SU is Dingin) Then (MP is Sedang)
    float w2 = min (trimf(h, 0, 0, 300), trimf(t, 18, 29, 35)); //
    If(KT is Kering) And (SU is Sejuk) Then (MP is Sedang)
    float w3 = min (trimf(h, 0, 0, 300), trimf(t, 33, 50, 50)); //
    If(KT is Kering) And (SU is Terik) Then (MP is Buka)
    float w4 = min (trimf(h, 200, 400, 600), trimf(t, 0, 0, 20)); //
    If(KT is Lembab) And (SU is Dingin) Then (MP is Tutup)
    float w5 = min (trimf(h, 200, 400, 600), trimf(t, 18, 29, 35)); //
    If(KT is Lembab) And (SU is Sejuk) Then (MP is Tutup)
    float w6 = min (trimf(h, 200, 400, 600), trimf(t, 33, 50, 50)); //
    If(KT is Lembab) And (SU is Terik) Then (MP is Sedang)
    float w7 = min (trimf(h, 550, 1000, 1000), trimf(t, 0, 0, 20)); //
    //If(KT is Basah) And (SU is Dingin) Then (MP is Tutup)
    float w8 = min (trimf(h, 550, 1000, 1000), trimf(t, 18, 29, 35)); //
    If(KT is Basah) And (SU is Sejuk) Then (MP is Tutup)
    float w9 = min (trimf(h, 550, 1000, 1000), trimf(t, 33, 50, 50)); //
    If(KT is Basah) And (SU is Terik) Then (MP is Sedang)

    // Defuzzyfication

```

```

float z = (w1*C2 + w2*C2 + w3*C3 + w4*C1 + w5*C1 + w6*C2 + w7*C1 +
w8*C1 + w9*C2)/(w1+w2+w3+w4+w5+w6+w7+w8+w9);
return z;
}

```

Lampiran 8 Source Code LCD Display

```

#include <wire.h> // Library for I2C communication
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Library for LCD
// wiring: SDA pin is connected to A4 and SCL pin to A5.
// Connect to LCD via I2C, default address 0x27 (A0-A2 not jumpered)
LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x27, 16, 2); // Change to
(0x27,16,2) for 16x2 LCD.

```

Lampiran 9 Source Code Motor Driver

```

/*Pin untuk Motor Driver*/
int enB = 6;
int in3 = 7;
int in4 = 8;
int kon_pintu = 0;

void BukaPintu(){
  if(kon_pintu==3)//Tutup ke buka
  {
    digitalWrite(in3, LOW);//Naik
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogWrite(enB, 255);
    delay(160);
    kon_pintu = 1;//buka pintu
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    Serial.print("tutup ke buka ");
    Serial.println(kon_pintu);
  }
  else if(kon_pintu==2){ //sedang ke buka
    digitalWrite(in3, LOW);//Naik
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogWrite(enB, 255);
    delay(80);
    kon_pintu = 1;//buka pintu
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    Serial.print("Sedang ke buka ");
    Serial.println(kon_pintu);
  }
}

void PintuSedang(){
  if(kon_pintu==3) //Tutup ke sedang
  {
    digitalWrite(in3, LOW); //Naik
    digitalWrite(in4, HIGH);
    analogWrite(enB, 255);
    delay(80);
    kon_pintu = 2; //Pintu sedang
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    Serial.print("tutup ke sedang ");
  }
}

```

```

Serial.println(kon_pintu);
}
else if (kon_pintu==1) //buka ke sedang
{
digitalwrite(in3, HIGH); //Turun
digitalwrite(in4, LOW);
analogwrite(enB, 255);
delay(80);
kon_pintu = 2; //Pintu Sedang
digitalwrite(in3, LOW);
digitalwrite(in4, LOW);
Serial.print("Buka ke sedang ");
Serial.println(kon_pintu);
}
}

void PintuTutup(){
if (kon_pintu==1) //buka ke Tutup
{
digitalwrite(in3, HIGH); //Turun
digitalwrite(in4, LOW);
analogwrite(enB, 255);
delay(160);
kon_pintu = 3; //Pintu Tutup
digitalwrite(in3, LOW);
digitalwrite(in4, LOW);
Serial.print("buka ke tutup ");
Serial.println(kon_pintu);
}
else if (kon_pintu==2) //sedang ke Tutup
{
digitalwrite(in3, HIGH); //Turun
digitalwrite(in4, LOW);
analogwrite(enB, 255);
delay(80);
kon_pintu = 3; //Pintu Tutup
digitalwrite(in3, LOW);
digitalwrite(in4, LOW);
Serial.print("sedang ke tutup ");
Serial.println(kon_pintu);
}
}
}

```

Desain Realistis

