PROTOTIPE OTOMASI PENGENDALIAN KADAR AIR BERBASIS LOGIKA FUZZY

PROTOTYPE OF AUTOMATION OF WATER CONTENT BASED ON FUZZY LOGIC

Irma Yunita Masturi[1], Bayu Erfianto[2], Andrian Rakhmatsyah[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
[1]**irmayunitamasturi@student.telkomuniversity.ac.id,**
[2]**erfianto@telkomuniversity.ac.id,**[3]**kangandrian@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Perkembangan teknologi saat ini banyak dikembangkan sistem pembudidayaan tanaman dengan memanfaatkan lahan sempit di sekitar daerah perkotaan yang mampu menghasilkan tanaman dengan kualitas baik dan sehat secara mandiri. Selain itu, keterbatasan waktu juga mengakibatkan kesulitan pemantauan tanaman seperti kontrol penyiraman dan intensitas penyinaran sehari-hari menjadi tantangan tersendiri yang sering ditemui. Tanaman membutuhkan air dan cahaya yang cukup agar dapat tumbuh maksimal sehingga perlu adanya pemantauan dan kontrol yang baik terhadap faktor-faktor pertumbuhan tanaman. Dalam penelitian ini dibangun prototipe sistem pemantauan kondisi tanaman dan pengendalian kadar air tanah pada tanaman. Pemantauan dan kontrol menggunakan data kondisi tanaman dalam selang waktu tertentu kemudian diolah menjadi referensi aksi aktuator. Model perancangan sistem memanfaatkan teknologi WSN (Wireless Sensor Network). Data diolah dan disimpulkan menjadi klasifikasi kondisi tanaman menggunakan metode Logika *Fuzzy* sebagai kendali sistem dan memberikan keluaran berupa aksi aktuator. Implementasi sistem yang dibangun menggunakan multisensor yaitu kadar air tanah, intensitas cahaya, ketinggian, *waterflow* dan pompa air sebagai aktuator. Hasil dari sistem ini berupa data kondisi tanaman, klasifikasi kondisi tanah berdasarkan hasil pengolahan akuisisi data sensor, dan aksi aktuator pompa berdasarkan hasil f*uzzy*.

Kata Kunci : *Wireless Sensor Network*, logika *fuzzy*, aktuator.

Abstract

Now days with technologies we could developed cultivation system by utilizing narrow land around urban areas. We able to produce good quality and healthy crops independently. But, time constraints cause the difficulty of monitoring crops such as watering control intensity and daily irradiation intensity. The crops need enough water and light to be able to grow optimally, so that need good monitoring and controlling. In this research, I built a prototype system that could monitoring and controlling the ground water level in plants. In this research I use data of crops condition within a certain time interval and then will be processed into action actuator reference. The design of system will be implemented by of Wireless Sensor Network (WSN) technology. The data will be processed and summarized into classification of crops condition by using Fuzzy Logic method as control systems and provides output in the form of actuator. Implementation of the system will be built using a multisensor i.e. soil moisture, light intensity, height detection sensor, waterflow and water pumps as actuator. The result of this system are data crop conditions, soil conditions classification based on the results of processing data sensor acquisition, and pump actuator action based on the results of fuzzy.

Key Words*: Wireless Sensor Network, Fuzzy Logic, actuator.*

1. Pendahuluan

Kondisi perkotaan yang padat dan semakin sempitnya lahan kosong yang tersedia serta keterbatasan waktu yang dimiliki masyarakatnya karena mobilitas dan aktivitas masyarakatnya yang tinggi sehingga menjadi kendala dalam meproduksi bahan-bahan makanan pokok. Sedangkan kebutuhan pokok akan konsumsi sejenis sayuran semakin meningkat khususnya di perkotaan. Meningkatnya permintaan tidak cukup hanya mengandalkan hasil produksi pembudidayaannya saja. Oleh karena itu, dengan memanfaatan lahan sempit ini memungkinkan masyarakat untuk melakukan pembudidayaan sayuran secara mandiri.

Pembudidayaan tanaman secara mandiri membutuhkan pemantauan khusus terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Melihat kondisi masyarakat perkotaan, proses pembudidayaan dapat dibantu dengan teknologi jaringan nirkabel yaitu WSN (Wireless Sensor Network) untuk memantau kondisi tanaman dan mengontrol penyiraman menggunakan sensor untuk mendapatkan data tanaman dengan memanfaatkan komunikasi nirkabel sebagai transmisi data. Hasil akuisisi dan pengolahan data dikirim dan disimpan dalam sebuah server. Implementasi dilakukan dengan membentuk jaringan beberapa sensor yaitu sensor kadar air tanah, sensor cahaya, ketinggian tanaman berupa sensor sonar, sensor waterflow, dan aktuator pompa air yang diletakkan pada posisi tertentu disekitar area tanam untuk merekam kondisi tanaman dan lingkunngannya. Data hasil rekam diolah menajdi informasi menggunakan metode *Fuzzy Logic* untuk

memperoleh *rule* sebagai kunci untuk mengklasifikasikan kondisi tanaman dan instruksi penyiraman sebagai aksi aktuator. Pengiriman data dilakukan melalui *wireless* dengan perangkat *Xbee*, PC sebagai *node coordinator*, dan OpenMTC sebagai server. Dengan sistem automasi ini dapat mempermudah proses pemantauan dan kontrol tanaman, hemat biaya, efektif karena sesuai dengan kondisi dan kebutuhan tanaman, dan memperoleh sayuran lebih cepat dan segar.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membangun prototipe otomasi pengendalian air tanah pada sistem pemantauan dan kontrol tanaman bayam dengan menerapkan metode Logika *Fuzzy* ?
2. Bagaimana keberhasilan kerja aktuator dalam proses otomasi pengendalian air tanah pada tanaman ?
3. Bagaimana mengukur dan menganalisis keberhasilan sistem yang telah dibangun?

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Membangun prototipe otomasi pengendalian air tanah pada sistem pemantauan dan kontrol tanaman bayam dengan menerapkan metode Logika *Fuzzy*.
2. Mengukur keberhasilan kerja aktuator dalam proses otomasi pengendalian air tanah pada tanaman.
3. Mengukur dan menganalisis keberhasilan sistem yang telah dibangun.

1.3 Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Studi Literatur

Melakukan pencarian referensi dari dengan membaca jurnal ilmiah, buku, hasil penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya, atau website ilmiah untuk mendukung penelitian.

Studi Lapangan

Melakukan pengamatan secara langsug pada tanaman bayam.

Perancangan Sistem

Perancangan sistem berdasarkan studi literatur dan studi lapangan serta hasil analisis kebutuhan komponen lainnya serta arsitektur sistem dan skenario pengujian yang akan dilakukan pada proses pengujian sistem.

Implementasi

Membangun sistem berdasarkan perancangan sistem yang telah dibuat.

Pengujian dan Analisis

Melakukan pengujian berdasarkan skenario pengujian dan melakukan analisis terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan.

Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil analisis pengujian yang dilakukan dan memberikan masukan untuk pengembangan kedepannya.

Dokumentasi dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Mendokumentasikan proses penelitian dan menyusun laporan Tugas Akhir.

2. Dasar Teori

2.1 Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah metode yang dapat digunakan untuk proses pengambilan keputusan berdasarkan aturan (rule) untuk memecahkan masalah non-linear menggunakan persamaan logika dari identifikasi kasus. Metode ini umum merepresentasikan hal-hal di dunia nyata dengan variabel linguistiknya dan nilai keangotaan antara 0 hingga1. Sistem logika fuzzy terdiri dari himpunan fuzzy(set), aturan fuzzy (rule) dan bilangan fuzzy. Proses penyelesaian *fuzzy logic* terdiri dari 4 tahapan yaitu : pembentukan himpunan fuzzy (Fuzzifikasi), pembentukan aturan (Operasi Fuzzy dan Implikasi), komposisi aturan (Agregasi), dan penegasan (Defuzzifikasi). [1]

2.2 Pompa Air

Gambar 1 Water Pump

Pompa air merupakan rangkaian elektronika yang dikemas dalam satu kesatuan. Berfungsi untuk menyediakan air dalam jumlah besar dengan memanfaatkan prinsip kerja daya centrifugal dengan bantuan motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak. Daya centrifugal dihasilkan oleh kipas yang

diputar oleh motor listrik sehingga akan memompa aliran air dari sumber air kemudian didistribusikan ke saluran air keluarannya secara terus menerus. [2] Dalam penelitian ini pompa air yang akan berperan sebagai aktuator adalah pompa air akuarium Lukineess 1200. Dengan tegangan 220V/240V 5Hz, 13 Watt. Mengalirkan air sebanyak 700 liter per jam dengan H-max 1.15M. Menggunakan pompa jenis ini karena desain yang sederhana dan cukup untuk digunakan sebagai aktuator penyiraman tanaman yang tidak membutuhkan daya besar dan arus air yang normal untuk penyiraman tanaman.

2.3 Relay

Gambar 2 Relay HKE HRS4H

Relay adalah saklar yang dapat membuka dan menutup jalannya arus listrik dengan *coil relay* yang terdapat di dalamnya. *Coil relay* yang mendapat tegangan listrik akan menghasilkan medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi batang logam disekitarnya. Logam tersebut terhubung ke saklar, sehingga memicu saklar terbuka dan tertutup. Biasanya, relay digunakan untuk pengendalian rangkaian, pengontrol sistem tegangan tinggi dengan tegangan rendah, pengontrol sistem arus tinggi dengan memakai arus rendah, atau fungsi logika. [3]

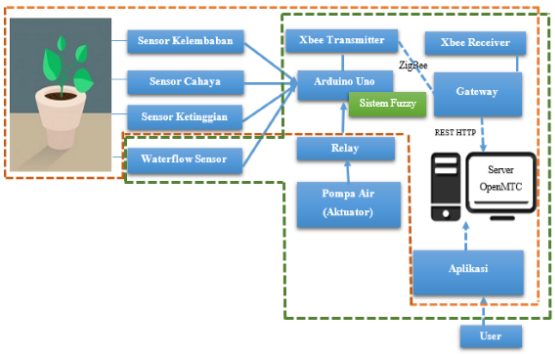
2.4 Waterflow Sensor

Gambar 3 Waterflow Sensor G ½

Sensor ini terdiri dari katup plastic, *water rotor*, dan sensor *hall-effect*. Prinsip kerja sensor ini dengan memanfaatkan *hall-effect*, berdasarkan efek dari medan magnet terhadap sebuah partikel yang bergerak. Ketika perangkat *hall-effect* dialiri arus listrik yang ditempatkan di medan magnet yang geraknya tegak lurus dengan arus listrik tersebut, maka akan mengakibatkan pergerakan ke salah satu sisi sehingga menghasilkan medan listrik. Semakin besar medan listrik yang terbentuk, maka gaya Lorentz yang bekerja pada partikel menjadi nol. Hal ini menyebabkan beda potensial antara kedua sisi yang disebut dengan potensial Hall. Dan potensial Hall ini sebanding dengan medan magnet dan arus listrik yang mengalir pada perangkat tersebut. Sensor ini memiliki 3 buah kabel penghubung dengan perangkat lainnya yaitu 1 kabel kuning sebagai output, 1 kabel hitam untuk Ground (Gnd), dan 1 kabel merah untuk 5V. [4]

3. Pembahasan

3.1 Gambaran umum sistem



Gambar 4 Skema Sistem Monitoring Tanaman

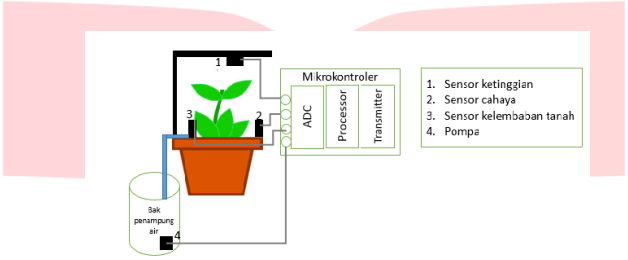
Pada gambar 18, proses pemantauan tanaman di lapangan menggunakan beberapa sensor untuk mengakuisisi data tanaman dibantu dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pengatur kerja akuisisi data oleh sensor. Data yang telah terkumpul dikirimkan ke *node coordinator* melalui koneksi *wireless* menggunakan perangkat Xbee Series 2, terdiri dari *Xbee Transmitter* yang dihubungkan dengan mikrokontroler dan *Xbee Receiver* dengan *node coordinator*. *Node coordinator* berperan sebagai *gateway* yang akan mendistribusikan semua data pemantauan untuk disimpan di server. Pada *node coordinator* ini menggunakan platform OpenMTC untuk mengakses dan mengatur pertukaran dan penyimpanan data ke server. Transmisi data ke server,

gateway menggunakan jaringan komunikasi dengan GSCL OpenMTC yang menjadi kunci untuk mengakses server M2M sehingga data dapat tersimpan secara virtual di *cloud*. Semua data yang telah tersimpan ke *cloud* dapat diakses dan dipantau oleh user melalui aplikasi *monitoring* tanaman.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dibuat secara bertahap. Langkah pertama yang dikakukan yaitu merancang letak sensor serta aktuator, kalibrasi dan akuisisi data tanaman menggunakan sensor yang telah dilakukan pada penelitian dengan judul "Perancangan Sistem Monitoring Tanaman Menggunakan Zigbee dan Platform M2M". Setelah itu mendesain rencana proses pengolahan data hasil pemantauan dan aktuator sebagai respon dari kondisi tanaman yang didapatkan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini.

Perancangan sistem ini dilakukan di dalam ruangan dengan penyinaran dibuat teratur menggunakan lampu LED. Peletakkan sensor kelembaban, cahaya, dan ketinggian menyesuaikan dengan posisi tanaman. Tanaman di tanam dalam pot berukuran ± 40 x 10 x10 cm^3 dengan media tanam tanah. Letak aktuator pompa dibuat lebih rendah dari posisi tanaman sekitar ± 50 cm. Hal ini dilakukan menyesuaikan dengan kekuatan pompamair yang digunakan sebagai aktuator. Media penyiraman menggunakan selang dengan ukuran diameter ½ cm dan panjang 1 meter. Berikut gambaran letak sensor dan aktuator pada tanaman.



Gambar 5 Rancangan Sensor dan Aktuator

3.3 Perancangan Aktuator

Pada perancangan aktuator, pompa yang digunakan sebagai aktuator dihubungkan dengan rangkaian relay. Ini bertujuan untuk menyetarakan arus yang mengalir antara pompa dengan arduino, dan mengatur kerja pompa berdasarkan instruksi yang diberikan arduino. Instruksi yang diterima relay berupa sinyal LOW untuk pompa mati dan sinyal HIGH untuk pompa menyala. Kedua sinyal tersebut merupakan hasil dari logika fuzzy yang ditanamkan pada arduino berdasarkan data kondisi tanaman.

3.4 Kalibrasi dan Akuisisi Data Tanaman

Menurut [18], menjelaskan bahwa "kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu". Bertujuan untuk menentukan nilai kebenaran atau nilai keakratan dari suatu perangkat, alat ukur, atau bahan ukur dengan membandingkan terhadap standar ukur acuan nasional atau internasional yang memiliki sertifikasi. Kalibrasi dilakukan pada perangkat baru, perangkat yang biasa digunakan setiap waktu atau pada waktu tertentu, pada perangkat yang mengalami gangguan (error), dan pada perangkat yang hasilnya diperkirakan berbeda jauh dengan realita secara kasat mata.

Data setiap sensor beserta data rata-rata sensor kelembaban disajikan dalam bentuk persentase untuk menyetarakan nilai dan mempermudah pengolahan data. Persentase dibuat dengan rumus sebagai berikut :

$$\% = \frac{Nilai\ Sensor}{1023}\ x\ 100\%$$

3.5 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan teknik observasi. Yaitu melakukan pengamatan sederhana secara langsung pada tanaman bayam. Pengamatan ini dilakukan untuk mengamati kebutuhan penyiraman tanaman bayam sehari-hari. Data dan informasi dari hasil observasi akan dijadikan acuan dalam pembuatan sistem pemantauan tanaman. Manfaat teknik observasi adalah peneliti dapat lebih memahami karakter, perilaku, dan kebutuhan tanaman sehari-hari secara langsung dan nyata. Pengamatan dilakukan mengikuti waktu tumbuh bayam yaitu ±28 hari. Selama masa pertumbuhan data diambil dari pukul 07.00 sampai 15.00 selama 2 hari di dalam ruangan. Penyiraman awal dilakukan sebelum data pertama terbaca oleh sensor. Untuk menentukan data yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan aturan fuzzy, digunakan penggabungan antara data yang diberikan oleh sensor dengan pengamatan langsung terhadap kondisi dan tekstur tanah oleh pengamat, data tersebut kemudian dikelompokan menjadi variabel linguistik yang menjadi dasar penyiraman tanaman pada pembuatan aturan fuzzy berikutnya.

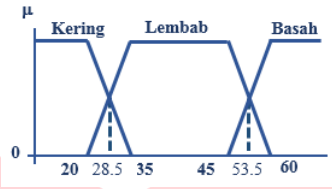
3.6 Metode Logika Fuzzy Sugeno

Dalam pembuatan sistem ini, i*nput fuzzy* berupa data kelembaban tanah dan Intensitas Cahaya, sedangkan *output fuzzy* berupa penyiraman dengan aktuator. Masing-masing *input* dan *output* memiliki nilai keanggotaan yang menyatakan keanggotaannya dalam sebuah himpunan fuzzy. Nilai keanggotaan ini yang nantinya akan digunakan dalam proses fuzzy untuk menarik kesimpulan dari beberapa proses fuzzy. Berikut ini pengolahan data dalam proses fuzzy yaitu :

1. Fuzzifikasi

   Memetakan nilai crisp ke dalam himpunan fuzzy dan menentukan derajat keanggotaannya.

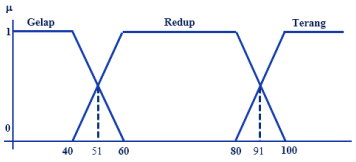
   Kelembaban Tanah



Gambar 61 Grafik Kelembaban Tanah

Pada Input FIS kelembaban tanah di atas, ditetapkan bahwa batas bawah untuk kondisi lembab adalah 28.5 dan batas atas untuk kondisi lembab adalah 53.5. Nilai ini didapatkan dari datasheet pada sensor kelembaban tanah yang digunakan. Untuk memetakan nilai crisp dibutuhkan satu nilai masukan dari data kondisi tanaman. Karena dalam penelitian ini menggunakan lebih dari satu sensor, maka nilai masukan akan diambil dari rata-rata nilai sensor untuk setiap satu kali pengambilan data sensor.

Intensitas Cahaya

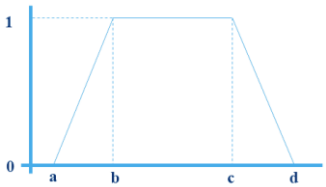


Gambar 7 Grafik Intensitas Cahaya

Pada Input FIS intensitas cahaya di atas, ditetapkan bahwa batas bawah kondisi redup untuk tanaman adalah 51 dan batas atas adalah 91. Nilai ini didapatkan dari pengamatan terhadap tanaman bayam. Seperti halnya pada kelembaban tanah, untuk memetakan nilai crisp dibutuhkan satu nilai masukan dari data kondisi tanaman. Karena dalam penelitian ini menggunakan lebih dari satu sensor, sehingga nilai masukan diambil dari rata-rata nilai sensor untuk setiap satu kali pengambilan data sensor.

Fungsi Keanggotaan

Dalam pembuatan sistem ini menggunakan fungsi keanggotaan trapesium untuk menentukan derajat keanggotaan suatu himpunan fuzzy.



$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \le x \le c \end{cases} \qquad \mu(x) = \begin{cases} 0, & x \le d \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 1, & b \le x \le c \end{cases}$$

Operasi Logika Fuzzy dan Implikasi

Menghubungkan antesenden dengan konektor AND, OR, dan NOT. Dalam tahap ini akan dibuat beberapa aturan logika yang sesuai dengan sistem kontrol yang dibuat. Oleh karena itu, aturan logika yang dibangun untuk pemantauan tanaman adalah sebagai berikut :

IF (Kelembaban = Kering) AND (Cahaya = Gelap) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Kering) AND (Cahaya = Redup) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Kering) AND (Cahaya = Terang) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Lembab) AND (Cahaya = Gelap) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Lembab) AND (Cahaya = Redup) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Lembab) AND (Cahaya = Terang) THEN (Pompa = ON)
IF (Kelembaban = Basah) AND (Cahaya = Gelap) THEN (Pompa = OFF)
IF (Kelembaban = Basah) AND (Cahaya = Redup) THEN (Pompa = OFF)
IF (Kelembaban = Basah) AND (Cahaya = Terang) THEN (Pompa = ON)

Berdasarkan aturan logika di atas, aktuator tidak akan aktif jika kelembaban tanah dalam kondisi basah dengan intensitas cahaya redup atau gelap. Derajat keanggotaan ditentukan dengan menggunakan fungsi MIN yaitu nilai derajat keanggotaan terkecil dari variabel linguistik pada satu aturan fuzzy. Berikut ini adalah rumus fungsi keanggotaan MIN :

IF $X = A$ **AND** $Y = B$ **THEN** $Z = C$
μ(z) = MIN((μ(x)), (μ(y))

Agregasi

Pada metode logika fuzzy Sugeno, agregasi hanya berupa *singleton*. Dalam penelitian ini nilai *singleton* menyatakan status dari aktuator pompa yaitu Pompa ON atau Pompa OFF.

Defuzzifikasi

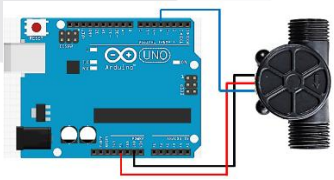
Defuzzifikasi pada metode logika fuzzy Sugeno diperoleh dengan menghitung nilai *center of singleton* yaitu jumlah dari perkalian antara nilai keanggotaan dengan nilai *singleton* kemudian dibagi dengan jumlah nilai keanggotaannya. Hasil defuzifikasi akan menentukan status aktuator pompa. Status aktuator terdiri dari ON atau OFF. Karena dalam sistem ini merupakan sistem *real time*, maka perhitungan defuzifikasi dilakukan untuk setiap data terakhir yang masuk dalam *rule fuzzy*. Sehingga rumus yang digunakan menjadi :

$$Z^* = \frac{\mu_c(\bar{z}).\bar{z}}{\mu_c(\bar{z})}$$

3.7 Implementasi

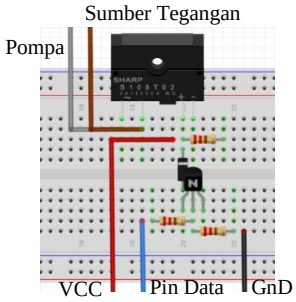
Rancangan Waterflow dan Aktuator

Untuk menghubungkan sensor waterflow dengan arduino uno menggunakan 3 kabel pin yaitu hitam untuk Gnd, merah untuk VCC, dan biru untuk pin data. Kabel pin data ini yang akan digunakan untuk melewatkan data aliran air yang terbaca oleh sensor.
Berikut skema perancangan hardware pada sistem yang dibangun :

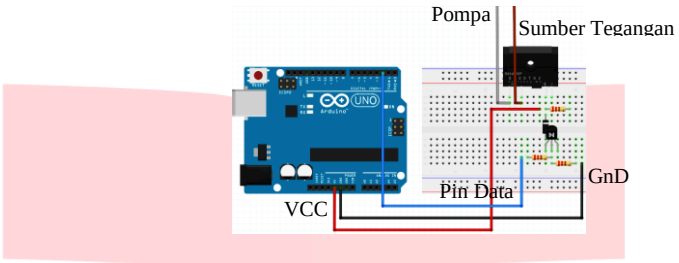


Gambar 8 Sensor Waterflow dan Arduino Uno

Berikut ini merupakan rangkaian relay dengan pompa yang akan dihubungkan ke Arduino Uno.



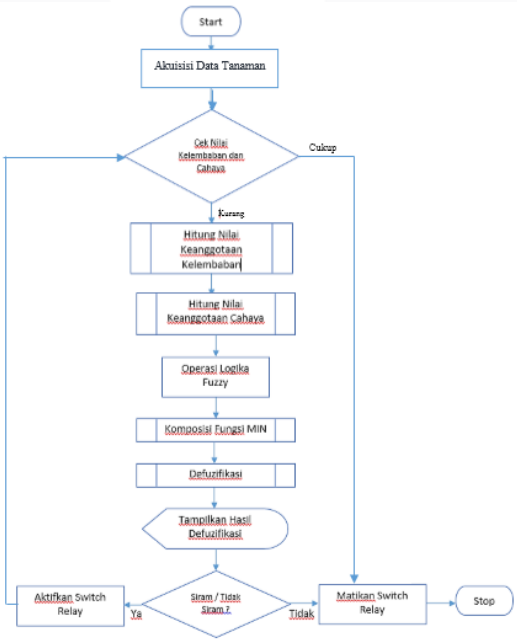
Gambar 92 Rangkaian Relay dan Pompa



Gambar 10 Rangkaian Pompa dan Relay ke Arduino Uno

Pada Gambar 10, terlihat bahwa ada 2 kabel yang masuk ke relay dari pompa. Satu kabel untuk sumber tegangan dan satu untuk pompa. Arus listrik dari sumber tegangan akan diubah dari AC menjadi DC sehinggan pompa dapat terhubung dengan mikrokontroler. Karena jika tidak di ubah dalam DC akan mengakibatkan kerusakan pada komponen mikrokontoler akibat tegangan yang diterima melebihi kapasitasnya. Setelah itu, relay yang akan mengontrol kerja pompa berdasarkan instruksi dari mikrokontroler. Instruksi tersebut berupa aliran arus listrik yang diterima oleh switch pada relay. Sedangkan mikrokontroler menerima instruksi tersebut dan mengubah ke bentuk arus listrik berdasarkan hasil pengolahan akuisisi data oleh sistem fuzzy yang di tanamkan pada mikrokontroler.

Flowchart Kendali Aktuator



Gambar 11 Flowchart Sistem Fuzzy

Dari gambar 11 , dapat dilihat bahwa hasil defuzzifikas an menjadi referensi aktifasi switch relay untuk menggerakkan aktuator pompa. Selain itu, penge an kondisi tanaman dilakukan secara *real time*. Ditunjukan dengan dilakukannya pengecekan kondisi tanaman setiap selama pompa aktif.

Sedangkan untuk status pompa mati terjadi ketika pengecekan kondisi tanaman pertama kali dan saat hasil defuzzifikasi diberikan.

4. Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil penelitian dan pengamatan diperoleh pola kebutuhan air tanaman per harinya. Dari pola tersebut kemudian ditransformasikan ke dalam sistem pengendalian air tanah otomatis dengan menerapkan metode logika fuzzy. Metode ini sangat cocok digunakan untuk membangun sistem kendali sederhana yang tidak membutuhkan perhitungan mendalam secara matematis tetapi lebih kepada keputusan berdasarkan logika manusia umumnya. Karena pada umumnya permasalahan di dunia nyata kebanyakan bersifat non-linear, dan dilihat dari proses dan keluarannya sistem dengan logika fuzzy memiliki sifat non-linear. Selain itu, pengendalian dengan menerapkan logika fuzzy sangat mudah diterapkan dalam bahasa pemrograman dan aplikasi apapun, lebih mudah dipahami dan dikembangkan, dan dapat didesain sesuai dengan kebutuhan pada kondisi nyata.
2. Untuk sistem kendali berbasis logika fuzzy, metode logika fuzzy Sugeno sangat cocok untuk diterapkan. Karena perhitungannya yang sederhana hanya membutuhkan waktu relatif cepat dan memberikan respon cepat sehingga cocok untuk sistem kendali. Hal ini dapat dilihat pada sistem yang dibangun, yaitu pada proses defuzifikasi dan kerja aktuator yang bekerja berdasarkan setiap data yang diterima secara *real time.*

Saran untuk pengembangan Tugas Akhir selanjutnya sebagai berikut :

1. Untuk sistem penyiraman yang lebih efektif, diperlukan perangkat atau rangkaian tambahan untuk pengendalian arus air pada saat penyiraman. Sehingga porsi air yang diberikan lebih tepat.
2. Perlunya pengembangan pada keampuan transmisi data hasil pemantauan dalam skala besar sehingga komunikasi antar komponen sistem lebih luas.

Daftar Pustaka

[1] Suyanto, S. M. (2011). *Artificial Intelligence.* Bandung: Informatika Bandung

[2] *Luckiness Pump*. Dipublikasi pada 5 November 2014. Luckiness : http://www.indoaquashop.com/luckiness

[3] *Relay Datasheet*. Dipublikasi pada 2 Maret 2006. HKERelays : http://www.hkerelays.com/product.html

[4] *Waterflow Datasheet*. Dipublikasi pada 7 Mei 2010. Seed Studio Works – Waterflow Sensor : http://www.seedstudio.com/depot/datasheet/water%20flow%20sensor%20datasheet

[5] Saelan Athia. 2009. *Logika Fuzzy.* Makalah IF2091 Struktur Diskrit, 5 halaman. [22 Februari 2015].

Lampiran A

Tabel 1 Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban Tanah

Waktu	Kelembaban 1 (%)	Kelembaban 2 (%)	Rata-Rata (%)
8:00:00	30	28	29
8:01:00	30	28	29
8:02:00	30	28	29
8:03:00	30	28	29
8:04:00	30	28	29
8:05:00	30	28	29
8:06:00	30	28	29
8:07:00	30	28	29
8:08:00	30	28	29
8:09:00	30	28	29
8:10:00	30	28	29
8:11:00	30	28	29
8:12:00	30	28	29
8:13:00	30	28	29
8:14:00	30	28	29
8:15:00	29	28	29
8:16:00	30	28	29
8:17:00	30	28	29
8:18:00	30	28	29
8:19:00	30	28	29
8:20:00	29	28	29
8:21:00	29	28	29
8:22:00	29	28	29
8:23:00	29	28	29
8:24:00	29	28	29
8:25:00	29	30	30
8:26:00	29	30	29
8:27:00	29	29	29
8:28:00	29	29	29
8:29:00	29	29	29
8:30:00	29	29	29

Tabel 2 Hasil Kalibrasi Sensor Cahaya

Waktu	Intensitas Cahaya (Lux)
8:00:00	94
8:01:00	94
8:02:00	77
8:03:00	120
8:04:00	128
8:05:00	125
8:06:00	89
8:07:00	81
8:08:00	95
8:09:00	89
8:10:00	94
8:11:00	89
8:12:00	77
8:13:00	79
8:14:00	96
8:15:00	80
8:16:00	91
8:17:00	87
8:18:00	84
8:19:00	87
8:20:00	82
8:21:00	94
8:22:00	97
8:23:00	90
8:24:00	85
8:25:00	104
8:26:00	99
8:27:00	100
8:28:00	104
8:29:00	88
8:30:00	91

Tabel 3 Hasil Kalibrasi Waterflow Sensor

No	Status Pompa	Waterflow (L/Menit)	Keterangan
1	ON	5	Air Mengalir
2	ON	4	Air Mengalir
3	ON	3	Air Mengalir
4	OFF	0	Air Tidak Mengalir
5	OFF	0	Air Tidak Mengalir
6	ON	3	Air Mengalir
7	ON	3	Air Mengalir
8	OFF	0	Air Tidak Mengalir
9	OFF	0	Air Tidak Mengalir
10	OFF	0	Air Tidak Mengalir
11	ON	3	Air Mengalir
12	ON	2	Air Mengalir
13	ON	3	Air Mengalir
14	ON	3	Air Mengalir
15	ON	3	Air Mengalir
16	ON	3	Air Mengalir
17	ON	3	Air Mengalir
18	ON	3	Air Mengalir
19	OFF	0	Air Tidak Mengalir
20	OFF	0	Air Tidak Mengalir
21	OFF	0	Air Tidak Mengalir
22	OFF	0	Air Tidak Mengalir
23	OFF	0	Air Tidak Mengalir
24	ON	3	Air Mengalir
25	ON	3	Air Mengalir
26	ON	3	Air Mengalir
27	ON	3	Air Mengalir
28	ON	3	Air Mengalir
29	ON	2	Air Mengalir
30	ON	3	Air Mengalir

Lampiran B

Tabel 4 Hasil Pengujian Klasifikasi Kondisi Tanaman

No	Air1	Air2	Rata-rata Air	Cahaya	µAir	µCahaya	Kondisi Tanah
1	0	0	0	0	1	1	Kering
2	39	43	41	122	1	0	Lembab
3	44	38	41	100	1	0	Lembab
4	40	43	41.5	122	1	1	Lembab
5	41	42	41.5	122	1	1	Lembab
6	40	44	42	117	1	1	Lembab
7	40	44	42	103	1	1	Lembab
8	42	43	42.5	115	1	1	Lembab
9	41	46	43.5	123	1	1	Lembab
10	42	44	43	113	1	1	Lembab
11	41	43	41	123	1	1	Lembab
12	40	43	41.5	109	1	1	Lembab
13	40	41	40.5	102	1	1	Lembab
14	40	41	40.5	104	1	1	Lembab
15	40	42	41	101	1	1	Lembab
16	43	38	40.5	99	1	0.5	Lembab
17	43	38	40.5	111	1	1	Lembab
18	37	38	37.5	114	1	1	Lembab
19	37	38	37.5	100	1	0	Lembab
20	36	37	36.5	98	1	0.1	Lembab
21	37	37	37	112	1	1	Lembab
22	37	37	37	100	1	0	Lembab
23	35	36	35.5	95	1	0.25	Lembab
24	36	37	36	99	1	0.5	Lembab
25	57	51	54	106	0.4	1	Basah
26	58	55	56.5	96	0.23	0.2	Basah
27	61	57	59	92	0.06	0.4	Basah
28	63	59	61	85	1	0.25	Basah
29	68	62	65	50	1	0.5	Basah
30	70	68	69	48	1	0.4	Basah

Tabel 5 Hasil Pengamatan Kerja Aktuator Pompa

No	Volume (mL)	Waktu (detik)	Aliran Air (L/Menit)
1	100	20	3
2	200	42	2
3	300	61	2
4	400	82	3
5	500	100	3
6	600	122	3
7	700	141	2
8	800	158	5
9	900	183	3
10	1000	205	2
11	2000	403	2
12	3000	605	2
13	4000	804	3
14	5000	1010	3

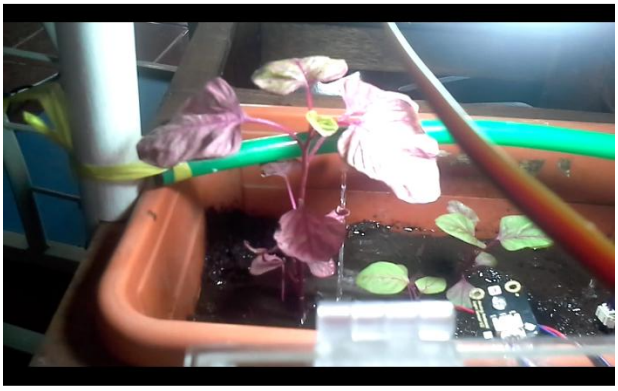
Tabel 6 Hasil Pengujian Aktuator

No	µAir	µCahaya	Kondisi Tanah	Status Siram
1	1	1	Kering	ON
2	1	0	Lembab	OFF
3	1	0	Lembab	OFF
4	1	1	Lembab	ON
5	1	1	Lembab	ON
6	1	1	Lembab	ON
7	1	1	Lembab	ON
8	1	1	Lembab	ON
9	1	1	Lembab	ON
10	1	1	Lembab	ON
11	1	1	Lembab	ON
12	1	1	Lembab	ON
13	1	1	Lembab	ON
14	1	1	Lembab	ON
15	1	1	Lembab	ON
16	1	0.5	Lembab	ON
17	1	1	Lembab	ON
18	1	1	Lembab	ON
19	1	0	Lembab	OFF
20	1	0.1	Lembab	ON
21	1	1	Lembab	ON
22	1	0	Lembab	OFF
23	1	0.25	Lembab	ON
24	1	0.5	Lembab	ON
25	0.4	1	Basah	ON
26	0.23	0.2	Basah	ON
27	0.06	0.4	Basah	ON
28	1	0.25	Basah	OFF
29	1	0.5	Basah	OFF
30	1	0.4	Basah	OFF

Tabel 7 Hasil Pengujian Keberhasilan Kerja Sistem

No	*Soil* 1	*Soil* 2	Cahaya	Tinggi	*Waterflow*	Status Kelembaban	Status Pompa	Waktu Nyala	Aksi Pompa
1	31,38	33,53	2	25	3	Lembab	ON	95	Nyala
2	32,46	33,53	8	10	3	Lembab	ON	105	Nyala
3	35,56	34,41	12	10	3	Lembab	ON	115	Nyala
4	43,10	39,32	10	10	3	Lembab	ON	125	Nyala
5	47,63	43,53	15	10	3	Lembab	ON	135	Nyala
6	52,37	49,88	0	0	3	Basah	OFF	0	Mati
7	64,00	61,00	37	24	0	Basah	OFF	0	Mati
8	64,00	61,00	27	26	0	Basah	OFF	0	Mati
9	62,81	61,78	29	10	0	Basah	OFF	0	Mati
10	61,88	60,31	0	10	0	Basah	OFF	0	Mati
11	61,88	60,31	0	26	0	Basah	OFF	0	Mati
12	61,88	60,31	0	24	0	Basah	OFF	0	Mati

Lampiran C



Gambar 12 Pompa Penyiraman Nyala

Gambar 13 Pompa Penyiraman Mati

```
Air1                  : 39
Air2                  : 43
Rata-Rata Air       : 41.0

Cahaya                : 122
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 1.0
-------------------------------------------------
- POMPA ON -
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 8 seconds)
```

Gambar 14 Running Program Fuzzy 1

```
Air1                  : 44
Air2                  : 38
Rata-Rata Air       : 41.0

Cahaya                : 100
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.0
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 8 seconds)
```

Gambar 15 Running Program Fuzzy 2

```
Air1                : 43
Air2                : 38
Rata-Rata Air       : 40.5

Cahaya              : 99
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-----------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.05
-----------------------------------------------------
- POMPA ON -
-----------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 8 seconds)
```

Gambar 16 Running Program Fuzzy 3

```
Air1                : 36
Air2                : 37
Rata-Rata Air       : 36.5

Cahaya              : 98
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-----------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.1
-----------------------------------------------------
- POMPA ON -
-----------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 7 seconds)
```

Gambar 17 Running Program Fuzzy 4

```
Air1                : 35
Air2                : 36
Rata-Rata Air       : 35.5

Cahaya              : 95
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-----------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.25
-----------------------------------------------------
- POMPA ON -
-----------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 9 seconds)
```

Gambar 18 Running Program Fuzzy 5

```
Air1                : 36
Air2                : 37
Rata-Rata Air       : 36.5

Cahaya              : 99
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-----------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-----------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.05
-----------------------------------------------------
- POMPA ON -
-----------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 6 seconds)
```

Gambar 19 Running Program Fuzzy 6

```
Air1                : 55
Air2                : 48
Rata-Rata Air       : 51.5

Cahaya              : 110
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 0.43333334
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah LEMBAB !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 1.0
-------------------------------------------------
- POMPA ON -
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 13 seconds)
```

Gambar 20 Running Program Fuzzy 7

```
Air1                : 58
Air2                : 55
Rata-Rata Air       : 56.5

Cahaya              : 96
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 0.23333333
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah BASAH !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.2
-------------------------------------------------
- POMPA ON -
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 12 seconds)
```

Gambar 21 Running Program Fuzzy 9

```
Air1                : 61
Air2                : 57
Rata-Rata Air       : 59.0

Cahaya              : 92
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 0.06666667
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah BASAH !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.4
-------------------------------------------------
- POMPA ON -
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 10 seconds)
```

Gambar 22 Running Program Fuzzy 10

```
Air1                : 70
Air2                : 68
Rata-Rata Air       : 69.0

Cahaya              : 48
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Air       : 1.0
-------------------------------------------------
Kondisi Air Tanah BASAH !
-------------------------------------------------
Nilai Keanggotaan Cahaya    : 0.4
-------------------------------------------------
- POMPA OFF -
-------------------------------------------------
BUILD SUCCESSFUL (total time: 13 seconds)
```

Gambar 23 Running Program Fuzzy 11