

Automatic Vegetable Watering System Using Fuzzy Logic with Integration of Soil Moisture, Rain Sensors, and RTC

Dallarizki Arginanta ^{1*}, Wahid Miftahul Ashari ^{2*}

* Teknik Komputer Universitas Amikom Yogyakarta

dallarizki@students.amikom.ac.id ¹, wahidashari@amikom.ac.id ²

Article Info

Article history:

Received 2024-08-15

Revised 2024-09-13

Accepted 2024-09-18

Keyword:

Automatic Watering System,

Fuzzy Logic,

Soil Moisture Sensor,

Rain Sensor,

Real-Time Clock (RTC)

ABSTRACT

Conventional vegetable watering often presents challenges, particularly in ensuring that plants receive adequate water without excessive manual intervention. This research proposes a solution in the form of an automatic watering system using fuzzy logic, which integrates soil moisture sensors, rain sensors, and an RTC (Real-Time Clock) for scheduling. The system is designed to replace manual watering methods with an automated process, thus improving the efficiency and effectiveness of vegetable cultivation. The developed device uses a soil moisture sensor to monitor soil conditions, a rain sensor to detect rainfall, and an RTC to determine the optimal watering times. The Arduino Uno acts as the main controller that activates the water pump via a relay driver based on data received from the sensors. Test results show that the system operates according to the established criteria, with a satisfactory accuracy level. The system successfully waters the plants at 07:00 WIB and 15:00 WIB, based on dry soil conditions and no rain. The trials showed that the device has an average soil moisture measurement error of 5%, and a time discrepancy of about 22 seconds on the RTC module. Each 1% increase in soil moisture requires approximately 1 second of watering duration. Watering times are adjusted to prevent the plants from drying out or dying, with a soil moisture threshold of below 40% set as the condition for requiring watering.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian, terutama dalam penyediaan pangan bagi masyarakat. Salah satu aspek krusial dalam budidaya tanaman, khususnya sayuran, adalah penyiraman yang tepat. Penyiraman yang tidak memadai dapat menyebabkan tanaman mengalami kekeringan, sedangkan penyiraman yang berlebihan dapat menyebabkan pembusukan akar dan kerugian lainnya. Pada praktik konvensional, penyiraman sering dilakukan secara manual, yang memerlukan tenaga dan waktu yang tidak sedikit. Selain itu, penyiraman manual tidak selalu tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan tanaman, terutama ketika mempertimbangkan variabilitas cuaca dan kondisi tanah. Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi telah memungkinkan penerapan otomatisasi dalam berbagai bidang, termasuk pertanian. Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah sistem penyiraman otomatis

yang menggunakan logika fuzzy. Logika fuzzy menawarkan keunggulan dalam menangani variabilitas dan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan, yang sangat cocok untuk mengatur penyiraman tanaman berdasarkan kondisi lingkungan yang dinamis seperti kelembapan tanah dan cuaca.

Penelitian di Maluku yang menunjukkan bahwa kedelai adalah komoditas yang paling rentan terhadap perubahan iklim. Studi tersebut menemukan bahwa kedelai mengalami penurunan produksi sebesar 10,7% pada kondisi El Niño dan penurunan produksi sebesar 11,4 % pada kondisi La Nina [1]. Padi sawah, yang biasanya ditanam di lahan basah, mengalami penurunan produksi 2,9% pada kondisi El Niño dan peningkatan produksi 2,4% pada kondisi La Nina. Dalam periode El Niño, produksi tanaman jagung juga mengalami penurunan sebesar 7,4% dan peningkatan sebesar 3,9% selama La Nina[1]. Selain itu, ada bukti dari penelitian yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan suhu

sebesar 1 derajat Celcius akan menurunkan hasil tanaman padi sebesar 10%, dan bahwa setiap kenaikan sebesar 1 derajat Celcius akan menurunkan produksi sebesar 5-7%, yang disebabkan oleh penurunan pembentukan sink, lebih pendek periode pertumbuhan, dan peningkatan respirasi [3]. Sektor pertanian sangat terpengaruh oleh kenaikan permukaan air laut.

Jika iklim tidak konstan atau stabil, tanaman akan mengalami penurunan hasil produksi. Namun, perbedaan iklim dan curah hujan antar wilayah tidak hanya disebabkan oleh efek ENSO, yaitu interaksi antara atmosfer dan lautan di Pasifik tropis yang menghasilkan variasi periodik antara suhu permukaan laut di bawah normal dan di atas normal, tetapi juga faktor geografis seperti garis lintang, ketinggian, dan garis pantai[2]. Berdasarkan uji statistic, secara geografis korelasi signifikan antara ONI dan curah hujan terjadi di provinsi yang terletak di sekitar ekuator [3].

Salah satunya adalah bahwa tidak semua penyiraman menggunakan jumlah air yang sama, yang dapat menyebabkan tanaman yang dirawat kekurangan atau kelebihan air, yang akhirnya menyebabkan pembusukan dan kematian. Hasil tinggi tanaman, diameter batang, dan luas daun dipengaruhi oleh volume air. Semua hasil ini berdampak pada berat basah tanaman, yang merupakan total pertumbuhan vegetatif tanaman, yang salah satunya dipengaruhi oleh kandungan air yang diserap oleh tanaman[4]. Salah satu komponen fisik yang sangat penting adalah air, air sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Air membentuk 85–90% bobot segar sel-sel dan jaringan tanaman tinggi [5]

Permasalahan akan lebih kompleks jika tanaman yang dirawat membutuhkan perawatan yang lebih spesifik dan intensif. Ini karena pola penyiraman yang lebih spesifik dan intensif juga dibutuhkan. Selain itu, kelebihan air dapat mengganggu pertukaran gas antara tanah dan udara, yang pada gilirannya mengurangi ketersediaan oksigen bagi akar dan menghambat pasokan oksigen bagi mikroorganisme. Ini juga dapat menyebabkan udara keluar dari pori tanah dan memperlambat laju difusi [6].

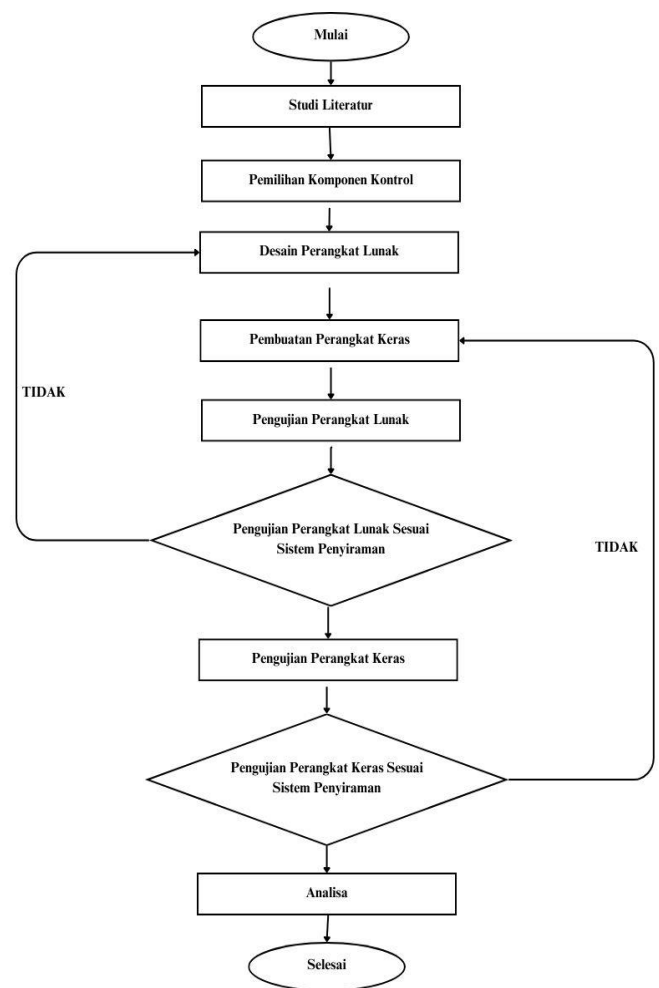
Penyiraman tanaman yang hemat dan tepat waktu merupakan salah satu solusi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem otomatisasi yang menggunakan teknologi Internet of Things (IoT) yang menggunakan sensor untuk mendeteksi cuaca dan kelembapan tanah dan mengatur penyiraman tanaman sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Suatu sistem yang dapat memantau kondisi lingkungan secara real-time dan melakukan penyiraman secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan diperlukan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi penyiraman pada tanaman sayur. Selain mengurangi kebutuhan untuk intervensi manusia, sistem ini akan memastikan bahwa tanaman mendapatkan jumlah air yang cukup untuk memenuhi kebutuhannya.

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem penyiraman otomatis yang mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, sensor hujan, dan Real-Time Clock (RTC) dengan menggunakan logika fuzzy. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode penyiraman manual, sehingga diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman sayur dengan cara yang lebih efisien. Dengan adanya teknologi ini, diharapkan proses penyiraman tanaman sayur menjadi lebih terukur, efektif, dan sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis dijelaskan dalam gambar 1 berupa langkah-langkah penelitian.



Gambar 1. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan utama yang meliputi perancangan sistem, pengumpulan data, implementasi sistem, serta pengujian dan analisis kinerja sistem.

1) *Perancangan Sistem*. Perancangan sistem penyiraman otomatis menggunakan logika fuzzy adalah tahap pertama penelitian. Pemilihan komponen yang akan digunakan untuk software dan hardware adalah bagian dari proses perancangan. Komponen utama yang dipilih termasuk Arduino Uno R3, yang berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengontrol seluruh sistem; Sensor Kelembapan Tanah untuk mengukur tingkat kelembapan tanah; Sensor Hujan untuk mendeteksi hujan; Jam Tangan Real-Time (RTC) untuk mengatur jadwal penyiraman; Relay Driver untuk mengontrol pompa air; Pompa air berfungsi sebagai aktuatur yang mengalirkan air ke tanaman; dan LCD (Liquid Crystal Display) untuk menampilkan informasi tentang kondisi sistem, seperti tingkat kelembapan tanah dan status penyiraman. Desain logika fuzzy dilakukan dengan menetapkan himpunan fuzzy dan aturan-aturan fuzzy untuk mengatur keputusan penyiraman berdasarkan input dari sensor kelembapan tanah dan sensor hujan. Jika nilai kelembapan yang diterima dari sensor sesuai atau tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman, pompa akan menyiram atau berhenti menyiram tanaman secara otomatis[7]. Jika tanah dalam pot tanaman hias kering, sistem dapat menyiram tanaman; jika tanah basah, sistem dapat berhenti menyiram tanaman[8]. Dengan menggunakan kontrol fuzzy logic, sistem penyiraman tanaman otomatis dapat menyiram tanaman jika kelembapan tanah kurang dari 45%, tetapi sistem tidak dapat menyiram tanaman jika kelembapan tanah lebih dari 45%. Unjuk kerja dari sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan fuzzy logic control, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan dapat berfungsi dengan baik dari segi sistem cerdas yang berbasis logika fuzzy maupun Sistem penyiraman. Sensor kelembapan tanah bekerja dengan baik dan benar[9]. Alat ini dibuat dengan menggunakan modul RTC dan sensor hujan yang berbasis Arduino Uno, dan berjalan dengan baik pada titik yang telah ditetapkan pada pukul 07.00 WIB, 12.00 WIB, dan 17.00 WIB. Waktu penyiraman telah disesuaikan untuk tanaman tomat, dan waktu penyiraman telah ditentukan menjadi 88 detik, atau waktu penyiraman selama 40 detik, agar tanaman tomat dapat tumbuh[10].

2) *Pengumpulan Data*. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data mengenai kondisi tanah (tingkat kelembapan) dan kondisi cuaca (hujan atau tidak). Data ini dikumpulkan melalui sensor-sensor yang terhubung dengan Arduino Uno. Data yang dikumpulkan digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang akan dimasukkan ke dalam sistem fuzzy dan untuk keperluan pengujian dan kalibrasi sistem.

3) *Implementasi Sistem*. Setelah perancangan selesai, sistem mulai diimplementasikan. Implementasi mencakup pembuatan perangkat keras (hardware) dan pengembangan perangkat lunak (software). Perangkat keras dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat, dan perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C/C++

untuk Arduino. Program dikembangkan untuk membaca input dari sensor, mengolah data dengan logika fuzzy, dan mengaktifkan pompa air sesuai dengan keputusan yang dihasilkan.

4) *Pengujian Sistem*. Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan yang dirancang. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap. Pengujian fungsionalitas, yakni menguji apakah semua komponen berfungsi dengan baik, termasuk pembacaan sensor, pengolahan data fuzzy, dan aktivasi pompa air. Pengujian kinerja yakni mengukur akurasi dan keandalan sistem dalam kondisi nyata, termasuk pengukuran tingkat kelembapan tanah, deteksi hujan, dan ketepatan waktu penyiraman.

A. Perancangan Hardware

✓ Tahapan Input

Sistem input adalah alat yang sangat penting untuk berbagai aplikasi, mulai dari teknologi sehari-hari hingga industri dan penelitian ilmiah, dan digunakan untuk mendeteksi perubahan dalam lingkungan fisik dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat diukur atau dianalisis. Proses kerja setiap sensor ini adalah mengubah fenomena fisik menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik ini kemudian dapat diproses oleh perangkat elektronik dan dikirimkan ke pengguna atau sistem otomatis dengan informasi yang bermanfaat. Berikut adalah sensor-sensornya.

✓ Sensor Kelembapan Tanah (Soil Moisture)

Sensor ini digunakan untuk mengukur tingkat kelembapan di area di sekitar tanaman. Dalam penelitian, sensor kelembapan tanah digunakan dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Mengukur resistansi tanah menunjukkan tingkat kelembapan tanah. Teknologi yang digunakan untuk microchip elektronik. Sejak ditemukan bahwa bahan semikonduktor dapat dibuat menjadi komponen yang lebih kecil, penemuan ini mengubah perangkat komputer yang sebelumnya besar. Penggunaan semikonduktor sebagai bahan untuk membuat IC (Integrated Circuit) mendorong kemajuan pesat dalam teknologi mikrochip dan mikrokomputer.

Penelitian ini menggunakan microchip atau microcontroller Arduino yang sudah didesain khusus untuk memudahkan perancang prototype membangun suatu alat, yaitu alat penyiram tanaman otomatis. Dalam penelitian ini, sensor plat logam resistif digunakan untuk mengukur kelembapan tanah. Tegangan analog yang dihasilkan oleh sensor ini kemudian dibaca oleh microcontroller yang telah dimasukkan ke dalam program (embedded system).[11] Sehingga alat akan bekerja sesuai dengan hasil penelitian yang akan dilakukan. Data yang diperoleh dari sensor ini menjadi salah satu input yang penting dalam sistem Fuzzy Logic untuk menentukan apakah tanaman membutuhkan penyiraman atau tidak. Untuk penyiraman tanaman sayur 30 – 40 % itu sudah dianggap kering.

✓ Sensor Hujan

Sensor hujan digunakan untuk mengetahui berapa banyak hujan yang turun di sekitar tanaman. Raindrop sensor dapat digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan dan juga dapat digunakan sebagai switch saat tetesan air hujan jatuh melewati raining board yang terletak di atasnya. Selain itu, data dari raindrop sensor dapat digunakan untuk menghindari penyiraman yang tidak perlu jika cuaca sudah terjadi hujan, sehingga mengoptimalkan penggunaan air. Raindrop sensor dapat digunakan sebagai pengatur saat tetesan air hujan jatuh melalui raining board yang terletak di atasnya. Selain itu, juga dapat digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan. Untuk pendeteksian hujan, nilai output raindrop sensor analog digunakan, dengan nilai output sensor tinggi pada saat sensor tidak mendeteksi hujan dan nilai output rendah pada saat sensor mendeteksi hujan [12]

✓ RTC (Real Time Clock)

Waktu dalam sistem penyiraman diatur oleh RTC ini. Jam waktu nyata (RTC) adalah jam elektronik yang terdiri dari chip yang dapat menghitung waktu dengan akurat dari detik hingga tahun dan menyimpan dan menyimpan data waktu secara real time. Karena jam ini bekerja secara real time, outputnya dapat disimpan atau dikirim ke perangkat lain melalui sistem antarmuka. Chip RTC biasanya ada di dekat chip BIOS pada motherboard PC. RTC digunakan oleh semua komputer karena berfungsi untuk menyimpan informasi jam terkini dari komputer tersebut. Saat komputer dimatikan, jam tetap up-to-date karena RTC menggunakan baterai sebagai penyalur daya pada chip. Karena menggunakan osilator kristal, RTC dianggap cukup akurat sebagai alarm (timer)[13-15]. Dengan RTC, sistem dapat mengatur waktu yang tepat untuk menyiram tanaman berdasarkan waktu yang telah ditentukan, seperti pagi dan sore hari, yang sudah sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kondisi lingkungan. Peneliti membuat jadwal yang cocok untuk waktu penyiraman tanaman dengan baik yaitu pada pukul 07.00 WIB dan 15.00 WIB.

✓ Tahapan Proses

Setelah ketiga sensor di atas memberikan input, langkah selanjutnya adalah proses. Pada tahap ini, mikrokontroler atau otak dari Arduino bertanggung jawab untuk memproses data yang diterima. Berdasarkan program yang telah ditulis dan diunggah ke papan Arduino, pemrosesan ini dapat melakukan banyak hal, seperti melakukan perhitungan, membuat keputusan, membaca nilai sensor, dan mengontrol waktu. Seseorang dapat menggunakan platform elektronik open-source Arduino untuk membangun dan mengembangkan proyek elektronik. Memproses inputan adalah fungsi utama Arduino. Ini memungkinkan Arduino untuk menerima data dari berbagai jenis sensor atau perangkat input lainnya, kemudian memprosesnya sesuai dengan program yang telah ditulis, dan menghasilkan output berdasarkan hasilnya.

✓ Tahapan Output

Dalam sistem otomatisasi, tahapan output adalah bagian sistem yang bertanggung jawab untuk melakukan tindakan berdasarkan hasil pemrosesan data atau keputusan yang dibuat oleh sistem. Selain itu, output mengambil sinyal atau data yang telah diproses sistem dan mengubahnya menjadi tindakan fisik atau logis. Ini dapat mencakup mengaktifkan perangkat, mengubah status, atau berkomunikasi dengan sistem lain. Ini adalah sensor yang masuk ke blok output.

✓ Relay

Relay adalah sebuah saklar yang dikendalikan arus yang digunakan dalam rangkaian elektronika sebagai eksekutor dan juga sebagai interface antara beban dan sistem kendali elektronik yang berbeda dari sistem daya sumbernya. Relay secara fisik terhubung ke elektromagnet relay, sehingga relay terpisah dari beban dan sistem kontrol. Dengan demikian, relay dapat mengontrol motor AC dengan rangkaian kontrol DC atau beban lain dengan sumber tegangan yang berbeda.

✓ LCD

LCD (Liquid Crystal Display) adalah jenis layar yang digunakan secara luas dalam berbagai alat otomatisasi untuk menampilkan informasi kepada pengguna. LCD pada alat otomatisasi digunakan untuk menampilkan parameter proses seperti suhu, tekanan, kelembapan, kecepatan motor, atau data lainnya yang perlu dipantau secara real-time. LCD juga menampilkan status sistem, seperti mode operasi (manual atau otomatis), status kesalahan, atau peringatan, sehingga pengguna dapat memantau kondisi alat dengan mudah.

✓ Pompa Air

Pompa air adalah alat yang digunakan untuk memindahkan air dari suatu tempat ke tempat lain melalui saluran (pipa) dengan menggunakan tenaga listrik untuk mendorong air yang di pindahkan secara terus menerus.

✓ Power Supply

Power supply (catu daya) adalah komponen kritis dalam alat otomatisasi yang berfungsi untuk menyediakan energi listrik yang stabil dan tepat sesuai dengan kebutuhan perangkat. Power supply mengkonversi sumber daya listrik yang tersedia (biasanya dari jaringan listrik AC) menjadi bentuk yang diperlukan oleh komponen alat otomatisasi, seperti tegangan DC (Direct Current) yang stabil. Power supply memastikan bahwa tegangan yang disuplai ke komponen alat tetap stabil dan sesuai dengan spesifikasi, yang penting untuk mencegah kerusakan atau gangguan pada peralatan.

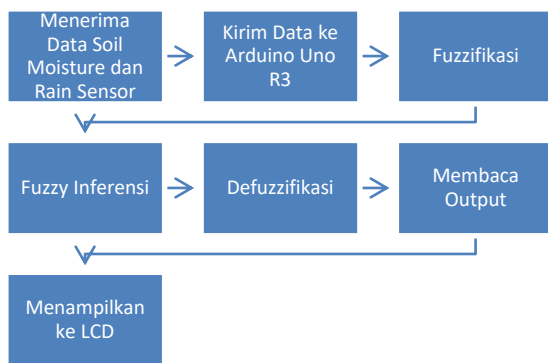
B. Perancangan Software

Sistem Instrumentasi yang berbasis mikrokontroler memerlukan urutan instruksi yang disebut program. Program sistem alat penyiraman tanaman otomatis ini ditulis dalam bahasa pemrograman IDE Arduino. Saat sistem dijalankan, sensor kelembaban tanah dan rain sensor akan mendeteksi kondisi tanah dan keadaan cuaca disekitar media tanaman, jika kondisi tanah kering kelembabannya dan kondisi pada saat itu tidak hujan maka pompa air hidup

untuk menyiram tanaman. Jika sensor kelembaban tanah mendeteksi tanah belum memenuhi ketentuan tapi kondisi sudah terjadi hujan maka pompa air akan hidup sampai kelembaban tanah sesuai dengan ketentuan. Jika terjadi hujan dan kelembaban sudah terpenuhi maka pompa akan mati. Ketentuan terakhir adalah pompa ON sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Kemudian Output Nilai kelembaban tanah, rain sensor dan real time pada saat itu akan ditampilkan pada LCD.

✓ Metode Fuzzy Logic

Metode Fuzzy Logic adalah metode komputasi yang berusaha untuk meniru cara berpikir manusia dalam pengambilan keputusan yang melibatkan ketidakpastian. Metode ini cocok karena karena kemampuannya dalam mengatasi ketidakpastian dan ambigu dalam pengambilan keputusan berbasis data sensor. Fuzzy Logic memungkinkan formulasi aturan-aturan berbasis "jika... maka..." yang lebih fleksibel daripada logika tradisional. Fuzzy logic memberikan fleksibilitas dan keandalan dalam menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan dalam data, sehingga sangat berguna dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan pendekatan human-like dalam pengambilan keputusan.



Gambar 2. Ilustrasi Aliran Data

✓ Fuzzifikasi

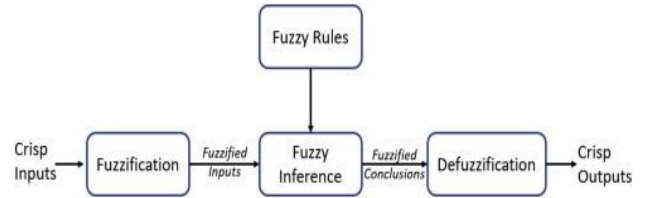
Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai masukan atau data yang ambigu data yang tajam menjadi nilai fuzzy yang dilakukan dengan menggunakan informasi dalam basis pengetahuan. Sensor kelembaban tanah dibaca oleh mikrokontroler. Lalu membentuk sistem matematis dari fuzzification pada sensor kelembaban tanah.

1. Jika x Dry :
 $1; x \leq 20$
 $(x) = 40 - x/40 - 20; 20 \leq x \leq 40$
 $0; x \geq 40$
2. Jika x Medium :
 $0; x \leq 20 \text{ or } x \geq 60$
 $x - 20/40 - 20; 20 \leq x \leq 40$
 $60 - x/60 - 40; 40 \leq x \leq 60$
3. Jika x Wet :
 $0; x \leq 40$

$$x - 40/60 - 40; 40 \leq x \leq 60$$

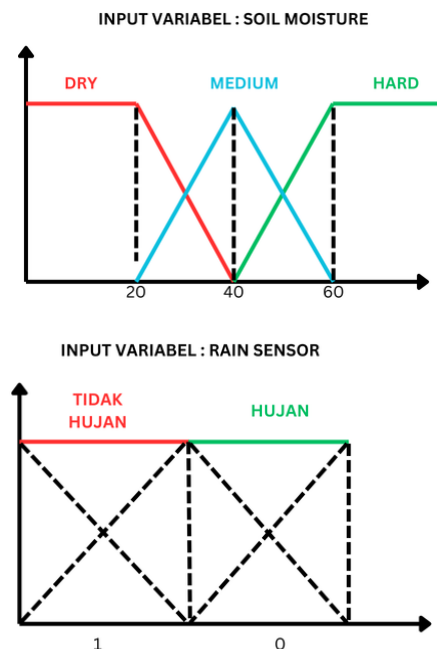
$$1; x \geq 60$$

Dari bukti matematis diatas, kemudian dapat membentuk grafik yang menunjukkan hubungan dari ketiga variabel tersebut



Gambar 3. Fuzzifikasi

Sensor hujan dibaca oleh mikrokontroler dan kemudian mengeluarkan output hujan maupun tidak hujan pada LCD. Berikut grafik dari ketentuan tersebut.



Gambar 4. Fuzzy Rules

✓ Fuzzy Rules

Fuzzy Rules adalah tahap pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan logika-logika yang telah dibangun sehingga menghasilkan suatu keputusan berupa perintah atau tindakan sesuai pengendalian yang diinginkan. ini sendiri masuk ke tahapan FIS. Aturan-aturan fuzzy dikembangkan berdasarkan pengetahuan ahli atau berdasarkan data historis yang terkait dengan kebutuhan air tanaman. Contoh aturan fuzzy termasuk "Jika kelembaban tanah rendah dan tidak ada hujan, maka lakukan penyiraman." Berikut ini adalah table ketentuan dari tahapan Fuzzy Rules.

TABEL I
FUZZY RULES

Rain/Soil Moisture	Tidak Hujan	Hujan
Dry	ON	OFF
Medium	ON	OFF
Wet	OFF	OFF

✓ Defuzzifikasi

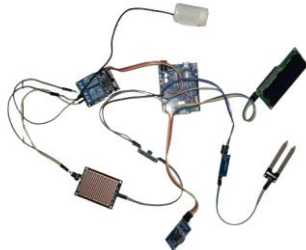
Proses defuzzifikasi dilakukan untuk mengubah nilai-nilai fuzzy menjadi nilai tegas yang dapat digunakan untuk mengontrol perangkat output, seperti pompa air. Dalam metode ini, nilai tegas dari durasi penyiraman dihitung sebagai titik pusat dari distribusi output fuzzy. Misalnya, jika output fuzzy memiliki derajat keanggotaan dalam kategori *Singkat*, *Sedang*, dan *Lama*, maka durasi penyiraman tegas dihitung dengan rumus berikut.

$$\frac{\sum(\mu(x) \times x)}{\sum \mu(x)}$$

Di mana $\mu(x)$ adalah derajat keanggotaan untuk nilai x dalam rentang durasi yang memungkinkan (misalnya 0 hingga 60 detik).

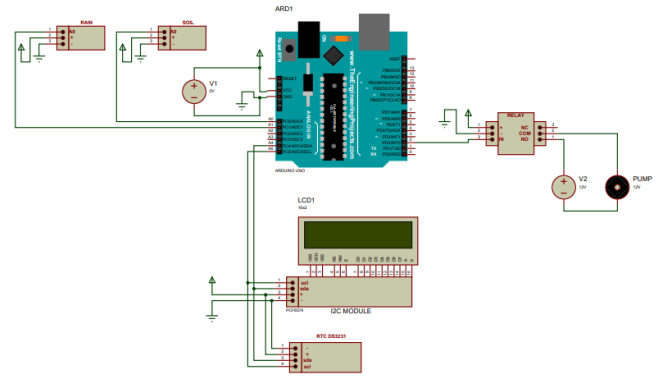
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan perancangan, langkah selanjutnya adalah melakukan uji coba dan pembahasan terhadap alat penyiraman sayur otomatis berbasis Arduino Uno yang menggunakan Soil Moisture Sensor, Rain Sensor, dan Real-Time Clock (RTC).



Gambar 5. Integrasi Sistem

Hasil perancangan sistem ini ditunjukkan pada Gambar 5, yang menggambarkan keseluruhan sistem. Pada bagian utama terdapat mikrokontroler Arduino Uno R3 yang berfungsi sebagai pengontrol utama semua sistem. Mikrokontroler ini terhubung dengan dua sensor, yaitu soil moisture sensor dan rain sensor, yang berfungsi sebagai input sistem. Selain itu, sistem juga terhubung dengan RTC untuk pengontrol waktu, serta dengan LCD module, relay, dan pompa air yang bertindak sebagai output sistem.



Gambar 5. Skematik Sistem Keseluruhan

Pengujian dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan oleh peneliti, yaitu pada pagi hari pukul 07.00 WIB dan sore hari pukul 15.00 WIB, selama 5 hari secara bergantian sesuai dengan jadwal. Hasil pengukuran sensor kelembapan tanah dan modul RTC menunjukkan tingkat error yang masih dapat ditoleransi dan dapat disesuaikan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

TABLE 2.
DATA HASIL PENGUKURAN KELEMBAPAN TANAH

No	Data Sensor	Data Aktual Sensor	Error Sensor
1	38%	40%	5%
2	67%	70%	4,29%
3	30%	32%	5%
4	50%	50%	0
5	28%	28%	0

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor kelembapan tanah. Hasil pengujian pada hari pertama menunjukkan tingkat error sebesar 38% pada data yang terdeteksi oleh sensor, sementara data aktual suhu saat itu adalah 40%, dengan selisih error sebesar 2%. Pada hari kedua, terjadi selisih sebesar 3% pada sensor, dan pada hari ketiga, selisih error yang terdeteksi adalah 2%. Secara keseluruhan, rata-rata tingkat error pada pengujian sensor ini adalah 5%. Dengan demikian, meskipun terjadi selisih yang relatif kecil, hal ini masih dapat ditoleransi.

TABLE 3.
DATA PENGUJIAN MODUL RTC (REAL TIME CLOCK)

No	Waktu di Modul RTC	Waktu di Handphone	Perbedaan
1	07.10.13	07.10.35	22 detik
2	07.24.07	07.24.29	22 detik
3	07.35.11	07.35.33	22 detik
4	15.05.21	15.05.43	22 detik
5	15.17.06	15.17.28	22 detik

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian modul RTC yang dilakukan selama 5 hari. Pada hari pertama, terdapat selisih waktu sebesar 22 detik antara sensor RTC yang ditampilkan melalui output LCD dan waktu pada handphone.

Selanjutnya, pada hari kedua hingga hari kelima, selisih waktu tetap sama, yaitu 22 detik. Selisih waktu tersebut memberikan kesempatan bagi peneliti untuk melakukan peninjauan ulang dan melakukan perbaikan agar waktu yang ditampilkan lebih akurat.

TABLE 4.
DATA HASIL PENGUKURAN RAIN SENSOR BESERTA DURASI WAKTU PENYIRAMAN

No	Sensor Hujan	Kelembapan Tanah	Pompa	Durasi Penyiraman
1	Hujan	67%	OFF	0
2	Hujan	30%	ON	10 detik
3	Tidak Hujan	28%	ON	14 detik
4	Tidak Hujan	10%	ON	30 detik
5	Tidak Hujan	54 %	OFF	0

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian seluruh sistem dan ketentuan yang berlaku, termasuk durasi penyiraman. Berdasarkan data yang ada, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh peneliti. Sebagai contoh, apabila terjadi hujan dan kelembapan tanah sudah mencapai 40%, maka pompa akan mati (OFF). Namun, jika hujan terjadi dan sensor kelembapan mendeteksi nilai kelembapan di bawah 40%, pompa akan aktif (ON). Durasi penyiraman bervariasi sesuai dengan tingkat kelembapan tanah yang terdeteksi.

Berdasarkan hasil uji coba di atas, sistem penyiraman tanaman sayur otomatis menggunakan metode fuzzy logic yang berbasis pada soil moisture sensor, rain sensor, dan RTC (Real-Time Clock) berfungsi dengan baik. Pada pengujian RTC, selisih waktu antara pembandingan jam di handphone dan waktu yang ditampilkan oleh RTC dalam kondisi ideal tercatat sebesar 22 detik.

Untuk sensor kelembapan tanah, terdapat selisih rata-rata sebesar 5% dibandingkan dengan data aktual selama pengujian. Sensor hujan juga berfungsi dengan baik, di mana

jika terjadi hujan dan kelembapan tanah sudah memenuhi ketentuan yang berlaku, maka pompa akan mati (OFF). Sebaliknya, jika hujan terjadi namun kelembapan tanah belum memenuhi ketentuan, pompa akan tetap menyala (ON).

Meskipun waktu set point penyiraman telah ditentukan pada pukul 07.00 WIB di pagi hari dan pukul 15.00 WIB di sore hari, tampilan LCD menunjukkan hasil yang sesuai dengan ketentuan. Secara keseluruhan, sistem penyiraman ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana yang telah disusun untuk pembuatan alat penyiraman tanaman otomatis ini.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba sistem penyiraman tanaman yang telah dilakukan, alat berbasis Arduino Uno R3 yang dilengkapi dengan Soil Moisture Sensor, Rain Sensor, dan Real-Time Clock (RTC) berfungsi dengan baik sesuai dengan set point atau ketentuan yang telah ditetapkan oleh peneliti. Alat ini secara otomatis menyala pada pukul 07.00 WIB dan 15.00 WIB, dengan syarat tanah dalam keadaan kering dan tidak ada hujan. Hasil pengujian terhadap kelembapan tanah menunjukkan rata-rata error sebesar 5%, sementara pada modul RTC terdapat selisih waktu sekitar 22 detik. Setiap 1% peningkatan kelembapan tanah memerlukan durasi penyiraman sekitar 1 detik. Penentuan waktu penyiraman disesuaikan untuk memastikan tanaman tidak kekeringan atau mati, dengan menghindari penyiraman di siang hari. Tanah dengan kelembapan di bawah 40% dianggap kering dan membutuhkan penyiraman. Meskipun penelitian ini sudah sesuai dengan rencana, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait efektivitas sensor, terutama jika tanaman ditanam dalam jumlah yang banyak. Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem penyiraman otomatis yang sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan oleh peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Budi, S. Balai, P. Teknologi, and P. Maluku, "Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan di Provinsi Maluku The Impact of Climate Change on Food Crops Production in the Province of Maluku."
- [2] L. R. E. Malau, K. R. Rambe, N. A. Ulya, and A. G. Purba, "Dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan di Indonesia," *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, vol. 23, no. 1, pp. 34–46, Mar. 2023, doi: 10.25181/jppt.v23i1.2418.
- [3] A. Budi, S. Balai, P. Teknologi, and P. Maluku, "Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan di Provinsi Maluku The Impact of Climate Change on Food Crops Production in the Province of Maluku."
- [4] A. Abdul Manan and dan Al Machfudz WDP, "Pengaruh Volume Air Dan Pola Vertikultur terhadap pertumbuhan Dan Hasil sawi Hijau (*Brassica juncea* L.)," 2015.
- [5] O. Sukarman, H. Jafar, A. Thomas, J. I. Kalangi, and M. T. Lasut, "Pengaruh Frekuensi Pemberian Air Terhadap Pertumbuhan Bibit Jabon Merah (*Anthocephalus macrophyllus* (Roxb.) Havil)."
- [6] S. Yuniati, P. Studi Agroteknologi, F. Pertanian, A. Program Studi Agroteknologi, and D. Juni, "Pengaruh Intensitas Penyiraman Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) Influence The Intensity of Watering Towards Growth and The Production of Pepper Plants (*Capsicum frutescens* L.)," 2019.
- [7] D. E. Kurniawan, "Push notification system pada prototype kendali listrik rumah," *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, vol. 2, no. 2, pp. 89–92, 2017.
- [8] D. Febrina, S. Agustina, and F. Trisnawati, "Alat Pendeteksi Kelembapan Tanah Dan Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Arduino Uno Menggunakan Soil Moisture Sensor dan Relay," vol. 2, no. 2, pp. 2723–598, 2021, doi: 10.33365/jimel.v1i1.
- [9] S. Bimo Mursalin and H. Sunardi, "Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembapan Tanah Menggunakan Logika Fuzzy".

- [10] F. Marinus, B. Yulianti, and D. M. Haryanti, "Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Berdasarkan Waktu Menggunakan RTC Berbasis Arduino Uno Pada Tanaman Tomat."
- [11] M. Sari and R. Bangun, "Rancang Bangun Alat Penyiram Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah," 2018.
- [12] J. Ilmiah and S. Teknik, "Implementasi Sistem Monitoring Deteksi Hujan dan Suhu Berbasis Sensor Secara Real Time (Implementation of Rain Detection and Temperature Monitoring System Based on Real Time Sensor)," 2017. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoard>
- [13] D. E. Kurniawan, M. Iqbal, J. Friadi, R. I. Borman, and R. Rinaldi, "Smart monitoring temperature and humidity of the room server using raspberry pi and whatsapp notifications," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2019, p. 012006.
- [14] N. Ramsari and T. Hidayat, "Teknologi Internet of Things (IoT) pada Tanaman Selada dan Pakcoy Hidroponik dengan Menggunakan Perhitungan MAPE", *JAIC*, vol. 7, no. 1, pp. 1-09, Jul. 2023.
- [15] R. Kusumah, H. Islam, and S. Sobur, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Ruang Data Center", *JAIC*, vol. 7, no. 1, pp. 88-94, Jul. 2023.