

Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kelembaban Tanah Dan Penyiram Tanaman Tomat Otomatis Menggunakan Algoritma Fuzzy

Prototype of a Soil Moisture Detection and Automatic Watering System for Tomato Plants Using Fuzzy Algorithm.

Muhammad Zahid Al Anshory¹, Yulian Zetta Maulana^{*2}, Fikra Titan Syifa³

*1,2,3Teknik Elektro, Universitas Telkom
Jl. DI Panjaitan 128, Purwokerto*

**2Corresponding author: Yulianm@telkomuniversity.ac.id
¹20107031@ittelkom-pwt.ac.id, ³Fikras@telkomuniversity.ac.id*

Received on 29-11-2024, accepted on 01-07-2025, published 30-07-2025

Abstrak

Tanaman tomat adalah salah satu sayuran buah yang banyak dikonsumsi dalam keadaan mentah maupun yang sudah dimasak, tomat disukai oleh hampir seluruh masyarakat di dunia. Agar didapatkan hasil panen yang baik, kondisi lingkungan yang ada pada lahan pertanian perlu diperhatikan demi mendapat hasil panen yang bagus dan mencegah tanaman menjadi layu. Kelembaban tanah yang ideal untuk tanaman tomat pada kadar air tanah 60-80%. Berdasarkan hal tersebut perlu dibuatnya alat dengan sistem pengendalian penyiraman air otomatis berdasarkan kelembaban tanah pada tanaman tomat menggunakan sistem kendali Fuzzy metode sugeno. Input yang diolah adalah data *temperature* dan kelembaban dari tanah dari 10 kali pengambilan data. Kedua input tersebut masing-masing diolah dengan menggunakan 3 fungsi keanggotaan. Penggunaan sistem kendali Fuzzy dapat diimplementasikan untuk membuat kendali keluaran dari pompa air, berupa lama waktu pompa menyala. *Output* ini lalu dibandingkan dengan data simulasi menggunakan Matlab. Dari hasil diperoleh bahwa rata-rata *error* didapat oleh sistem kendali yang sudah dibuat dengan nilai error 1,39%, Akurasi dari perbandingan sistem termasuk dalam kategori sangat baik karena nilai akurasi yang didapat 98,61%. Tingkat kesesuaian perancangan dan hasil adalah 100%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem ini sudah mendekati hasil yang ada pada simulasi dan dapat diaplikasikan pada sistem tanaman tomat.

Kata kunci: Kelembaban Tanah, Kendali Fuzzy, Penyiram Otomatis, Pompa Air, Tanaman Tomat.

Abstract

Tomato plants are one of the fruit vegetables that are widely consumed raw or cooked, tomatoes are liked by almost all people in the world. To get good harvests, environmental conditions on agricultural land need to be considered in order to get good harvests and prevent plants from wilting. The ideal soil moisture for tomato plants is 60-80% soil water content. Based on this, it is necessary to create a tool with an automatic water watering control system based on soil moisture on tomato plants using the Fuzzy Sugeno method control system. The input processed is temperature and humidity data from the soil from 10 experiments. These two inputs are each processed using 3 membership functions. The use of a fuzzy control system can be implemented to control the output of the water pump, in the form of the length of time the pump is on. This output is then compared with the simulation data using Matlab. From the results it was found that the average error obtained by the control system that had been created had an error value of 1.39%. The accuracy of the system comparison was included in the very good category because the accuracy value obtained was 98.61%. The level conformity of design and results is 100%. So, it can be concluded that this system is close to the results in the simulation and can be applied to the tomato plant system

Keywords: Automatic sprinkler. Fuzzy Control. land Humidity. Tomato plants. water pump. Tomato plants.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan tanaman tomat di lahan pertanian sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor dan salah satu yang paling penting adalah kondisi tanah. Beberapa faktor seperti suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan tingkat keasaman tanah (pH) berkontribusi dalam membentuk kondisi tanah. Untuk mencapai semua itu proses otomatis perlu untuk dilakukan. Sehingga tanaman akan tersiram secara otomatis dan tidak perlu menggunakan tenaga manusia untuk melakukan penyiraman secara manual. Tetapi proses otomatis ini tentunya tidak mengurangi kualitas dari tanaman itu sendiri.

Dari kajian penelitian sebelumnya, diperoleh data bahwa pertumbuhan maksimal, tomat membutuhkan tanah dengan kelembaban 60-80% dan pH stabil antara 5,5 hingga 7 [1]. Tomat yang berkualitas unggul membutuhkan suhu yang terjaga kestabilannya. Suhu ideal untuk pertumbuhan tomat adalah 24-28 °C. Jika suhu terlalu tinggi, buah tomat akan cenderung berwarna kuning. Sebaliknya, jika suhu tidak stabil, warna buah tomat bisa menjadi tidak merata [2]. Dengan mengetahui kondisi tanah dan keadaan tanaman secara rutin maka kondisi lahan dapat terjaga dengan baik. Kualitas tanah yang baik memerlukan pengalaman bertani selama bertahun-tahun. Hal tersebut tidak mudah untuk dilakukan semua orang, pemantauan harus dilakukan setiap hari. Untuk mengatasi hal demikian dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *wireless* yang dilengkapi dengan sensor dan mikrokontroler. Inovasi ini bertujuan agar para petani tidak perlu memantau kondisi tanamannya setiap hari secara langsung.

Untuk memperkuat penelitian ini, beberapa penelitian terdahulu dikaji dan digunakan sebagai acuan. Salah satunya yaitu pada implementasi *wireless sensor node* untuk pemantauan lahan pertanian berbasis protokol 802.15.4. Di mana sistem monitoring kelembaban tanah pertanian ini menggunakan *soil moisture sensor fc-28* dan *arduino uno*. Sementara sistem alat monitoring pada tanaman hias *tillandsia* menggunakan algoritma *fuzzy* pada arsitektur IoT. Monitoring dan kontrol sistem penyemprotan air untuk budidaya aeroponik menggunakan *Nodemcu ESP8266* dengan menggunakan logika *fuzzy* [3], [4].

Dalam upaya menangani permasalahan dari latar belakang di atas, perlu dirancang sebuah alat sekaligus sistem yang dapat bekerja otomatis. Untuk mengatasi masalah ini, salah satu solusinya adalah dengan merancang alat yang ringkas dan mudah digunakan, seperti yang dapat digenggam tangan atau diakses melalui perangkat *mobile*. Perpaduan teknologi sensor dan algoritma *Fuzzy* dapat memberikan informasi akurat dari kondisi tanah pada tanaman. Algoritma *Fuzzy* dapat diterapkan sebagai pembuat keputusan terhadap tingkat ketepatan penyiraman air berdasarkan data sensor. Sebuah alat berbasis mikrokontroler yang terhubung dengan internet (*internet of things*), dapat memonitoring lahan pertanian dan terhubung dengan ponsel [5], [6]. Sehingga pengguna dapat melihat situasi lahannya setiap waktu. Penggunaan aplikasi sebagai media *interface* dari alat ini dapat terhubung dengan mikrokontroler dan sensor-sensornya. Aplikasi dapat menerima data yang didapat oleh sensor dan menampilkannya secara berkala. Pengguna dapat menggunakan aplikasi jika terhubung dengan jaringan internet. Alat ini menawarkan kemudahan bagi penggunaannya untuk mengakses dan menggunakannya kapan saja dan di mana saja, cukup dengan menggunakan ponsel.

Dalam proses budidaya tanaman tomat, sangat penting untuk memberikan perhatian yang tepat, terutama dalam hal pengairan tanaman karena tanaman tomat akan mati jika kekurangan atau kebanyakan air pada tanaman. Kualitas tomat selama penyimpanan dipengaruhi oleh faktor internal, seperti aktivitas enzim dan proses metabolisme yang masih berlangsung di dalam buah. Mikroorganisme patogen merupakan salah satu faktor internal yang berperan dalam penurunan kualitas dan pembusukan tomat. Tomat memiliki umur simpan yang singkat, hanya sekitar 7-8 hari pada suhu ruangan (di atas 20°C), sehingga menjadi permasalahan yang perlu diatasi. Faktor eksternal dari tanaman tomat terdiri dari kelembaban tanah, suhu dan pH. Kelembaban tanah ideal ada pada kadar air sebesar 60-80% dan pH stabil antara 5,5-7. Petani belum beralih ke metode penyiraman otomatis dan masih menggunakan cara manual untuk mengairi tanaman tomat, dengan mengatur sendiri volume dan frekuensi penyiraman. Metode penyiraman manual yang dilakukan petani tidak selalu tepat, terkadang air yang diberikan berlebihan atau penyiraman dilakukan terlalu cepat, sehingga tanaman mengalami stres kekeringan sebelum terlihat layu [12], [13].

Teknologi yang digunakan adalah sistem tertanam terintegrasi dengan menggunakan metode *fuzzy* untuk meningkatkan kendali secara otomatis pada penyiraman tanaman. Alat yang dibuat berupa sistem penyiraman otomatis menggunakan mikrokontroler menggunakan metode *fuzzy*. Dengan penelitian ini, diharapkan bahwa penyiraman tanaman bisa dilakukan secara otomatis dengan memperhatikan tingkat kelembaban yang ada, sehingga akurasi kebutuhan penyiraman meningkat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian [7] dilakukan dengan menggunakan *wireless sensor node*. Melalui 3 jenis *node end device*, Koordinator, dan PAN Koordinator. Setiap *node* mempunyai Arduino dan modul MRF24J40MA untuk dapat mengambil hasil pengambilan data sensor suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah. *Node* yang digunakan untuk monitoring menggunakan komunikasi SPI, terdapat rentang maksimum dalam pengiriman data sebesar 104 meter dari *end device* yang ada, saat alat ini melebihi batas maksimum maka dapat terjadi *packet loss*. Penelitian ini memberi kesimpulan penempatan alat yang berbeda dapat mempengaruhi pengiriman data sensor pada lahan pertanian karena perbedaan performa kualitas dari jaringan. Pada [8] sistem monitoring dan kendali yang dibuat menggunakan objek monitoring suhu, kelembaban dan intensitas cahaya. Beberapa komponen untuk mengukur objek tersebut menggunakan sensor DHT11, BH1750, dan sebuah mikrokontroler esp 8266. Penerapan metode *fuzzy* Sugeno dalam penelitian ini menunjukkan keberhasilannya dalam mengendalikan suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya pada prototipe.

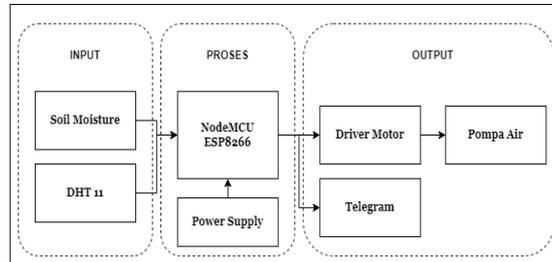
Sistem pendeteksian yang dirancang dengan *rules fuzzy* telah teruji secara komprehensif melalui 7 kali percobaan dengan nilai data sensor yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem selalu menghasilkan respons yang sesuai dengan kondisi yang ditentukan dalam metode Fuzzy Sugeno, tanpa menghasilkan output yang tidak sesuai. Penelitian [9] memonitor Unsur Hara, kelembaban, PH Tanah dan suhu udara *Berbasis Internet of things*. Objek penelitian ini menggunakan tanaman stroberi untuk diketahui keadaan tanah dan keadaan tanamannya pada wilayah dataran tinggi. Beberapa komponen yang digunakan untuk mengukur objek penelitian ini menggunakan sensor DHT11, NPK, *Soil moisture* kapasitif, sensor PH, dan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Penelitian ini telah menghasilkan sistem *monitoring* yang mampu memantau unsur hara tanah, pH, kelembaban tanah, suhu udara, dan kelembaban udara secara efektif. Sistem ini menggunakan sensor NPK, sensor pH, Soil Moisture sensor, dan DHT 11.

Kemampuan sensor-sensor dalam sistem *monitoring* ini untuk menghasilkan data yang akurat patut diapresiasi. Akurasi pengukuran unsur N dan P mencapai 98%, unsur K mencapai 93%, pembacaan pH mencapai 99,06%, pengukuran kelembaban tanah mencapai 97%, dan pengukuran suhu udara menggunakan sensor DHT11 mencapai 98%. Hasil pengukuran yang didapat memiliki selisih *error* yang kecil hanya berkisar 3-5%. Selanjutnya hasil pembacaan sensor akan ditampilkan pada *firebase software*. Penelitian [10] menggunakan fungsi keanggotaan dalam kategori dingin sedang dan panas untuk suhu, sedangkan untuk kelembaban terdapat fungsi anggota lama, sedang, dan sebentar. Penerapan algoritma *fuzzy* menggunakan *rule based* sebagai pengatur kendali output. Hasil pengukuran yang didapat berdasarkan pengujian tersebut mendapat nilai rata-rata *error* sebesar 5,19 %. Pengguna dapat memantau nilai keluaran kelembaban tanah dan suhu yang dideteksi oleh sensor melalui dua platform, yaitu *web ThinkSpeak* dan layar LCD. Data ini ditampilkan dalam bentuk grafik yang mudah dipahami, meliputi informasi tentang suhu lingkungan, kelembaban tanah, lama penyiraman tanaman, dan waktu penyiraman tanaman. Penelitian [11] membuat suatu rancang bangun sistem yang dapat memonitoring Kelembaban tanah, dan Suhu Udara *Berbasis internet of things* dengan menggunakan sebuah *raspberry pi* sebagai mikrokontroler. Objek penelitian ini menggunakan tanaman anggrek untuk diketahui keadaan kelembaban tanahnya dan suhu dari tanaman ini. Beberapa komponen yang digunakan untuk mengukur objek penelitian ini menggunakan sensor suhu LM35, dan sensor *soil moisture*. Sistem dapat menunjukkan hasil keakuratan sensor yang ditampilkan pada halaman web. Terdapat penggunaan *buzzer* sebagai indikator apabila tingkat kelembaban di bawah 60%RH. Hasil penelitian ini didapat tingkat keakuratan sensor LM35 sebesar 98,658% dan sensor *soil moisture* 99,447%.

Secara umum desain sistem dibuat sehingga proses output nantinya dapat menjalankan pompa air dari hasil pembacaan sensor input [12], [13]. Sensor suhu hanya menggunakan pin data pada salah satu input mikrokontroler kemudian menggunakan pin daya av3 dan ground pada pin ground yang ada [14], [15]. Selanjutnya proses pengendalian dilakukan dengan menggunakan kendali *fuzzy* dan direpresentasikan dengan nilai detik [16], [17]. Tahap ini dilakukan dengan mengambil input berupa nilai dari setiap rule. Metode Rata-Rata Berat (*Weighted Average*) adalah salah satu teknik defuzzifikasi yang digunakan untuk mengubah nilai *fuzzy* (derajat keanggotaan) menjadi nilai crisp yang konkret [18], [19]. Defuzzifikasi menghasilkan output yang menentukan keadaan pompa, apakah menyala atau mati [20], [21], [22].

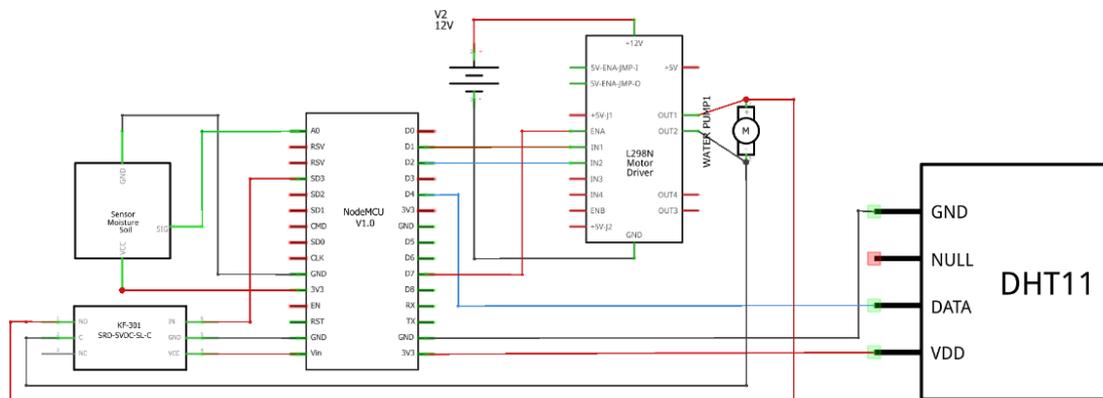
III. METODE PENELITIAN

Sistem terdiri dari sensor temperatur dan kelembaban, Mikrokontroler nodeMcu, power supply, driver motor dan pompa air. Keluaran dari mikrokontroler juga terhubung dengan sistem telegram. Blok diagram secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

Berdasarkan gambaran dari diagram blok pada gambar 1 dapat dijelaskan terkait penelitian yang akan dilakukan, yaitu secara garis besar terdapat bagian input merupakan *sensor soil moisture* dan DHT11 yang akan mengirimkan input data pembacaan kelembaban tanah, kemudian bagian proses terdapat mikrokontroler ESP8266 sebagai kendali yang menerima data dari input sensor. Setelah mendapatkan data dari sensor, kemudian mikrokontroler memproses perolehan data tersebut dengan software yang sudah dibuat pada sistem. Setelah itu sistem kendali dapat memberikan keputusan dan mengirimkan data pada driver motor. Pompa air bereaksi terhadap masukan dan menghasilkan tindakan seperti yang diberikan pada program, hasil proses tersebut akan ditampilkan melalui notifikasi pada aplikasi telegram sebagai pemberi informasi data alat. Power supply digunakan pada mikrokontroler dan driver motor sebagai catu daya, driver motor memerlukan penggunaan daya sebesar 12V, sumber tegangan dari mikrokontroler tidak dapat mencukupi jika hanya sebesar 5V. Sistem kendali menggunakan sistem kendali Fuzzy. Pengkabelan sistem secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Pengkabelan

Berdasarkan Gambar 2 di atas, perangkaian hardware alat pendeteksi kelembaban tanah dan penyiram tanaman tomat otomatis. Penggunaan pin pada sensor soil moisture terdapat pin A0 NodeMCU terhubung dengan pin SIG sensor soil moisture digunakan sebagai pembaca analog, Pin GND terhubung dengan GND NodeMCU, pin VCC terhubung dengan 3V3 NodeMCU digunakan untuk memberikan daya pada sensor.

Pin ENA pada driver motor L298N dihubungkan dengan D7 digunakan sebagai pengendali kecepatan pompa air melalui PWM. Pin IN1 dihubungkan dengan D1 dan Pin IN2 dihubungkan dengan D2 sebagai pengatur keaktifan pompa air. Pin 12V dan GND dihubungkan pada power supply, GND dipasangkan jumper pada GND mikrokontroler. Terdapat Pin OUT 1 yang dihubungkan dengan kabel + pompa air dan OUT 2 dihubungkan dengan - pompa air.

Metode *fuzzy* Sugeno, salah satu metodeFuzzy, diterapkan untuk mengontrol status menyala atau mati pompa berdasarkan data kelembaban tanah yang diperoleh dari sensor soil moisture. Hasilnya adalah kontrol status penyiraman pompa. Dalam tahap Fuzzifikasi proses digunakan untuk mengubah informasi

dari inputan data sensor ke data himpunan Fuzzy linguistik. Tabel hubungan variabel dan Nilai Linguistik ditunjukkan pada Tabel 1.

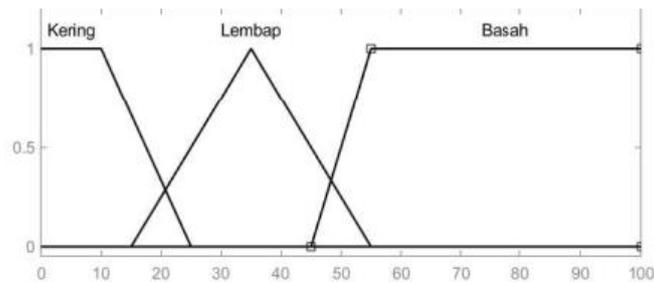
Tabel 1. Fuzzifikasi

Nilai Variabel	Nilai Linguistik
Kelembaban Tanah	Kering, Lembab, Basah
Suhu	Dingin, Sedang, Panas
Status Pompa	Mati, Cepat, Lama

Kelembaban tanah terdiri dari 3 himpunan Fuzzy yaitu kering, lembab, basah. Nilai kelembaban tanah saat berada pada 0-25% direpresentasikan dengan nilai kering, saat nilai sebesar 15-55% direpresentasikan sebagai nilai lembab, dan terakhir saat nilainya diatas 45% akan direpresentasikan sebagai nilai Basah. Hubungan nilai linguistik dan Domain ditunjukkan pada Tabel 2, sementara fungsi keanggotaan kelembaban tanah ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 2. Variabel Kelembaban Tanah

Nilai Linguistik	Domain
Kering	0-25%
Lembab	15-55%
Basah	45-100%

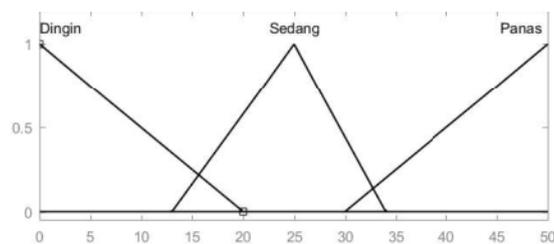


Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Himpunan Kering, Lembab, Basah

Suhu terdiri dari 3 himpunan Fuzzy yaitu dingin, sedang, panas. Nilai Suhu saat berada pada 0-20°C direpresentasikan dengan nilai dingin, saat nilai sebesar 13-34 °C direpresentasikan sebagai nilai sedang, dan terakhir saat nilainya diatas 30 °C direpresentasikan sebagai nilai panas. Hubungan antara nilai Linguistik dan suhu ditunjukkan pada Tabel 3. Sementara fungsi keanggotaan suhu direpresentasikan pada Gambar 4.

Tabel 3. Variabel Suhu

Nilai Linguistik	Domain
Dingin	0-20 °C
Sedang	13-34 °C
Panas	30-50 °C



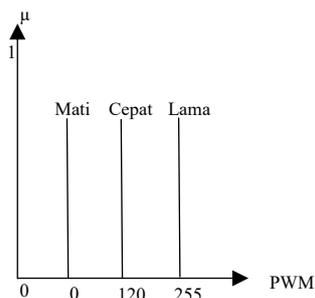
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Himpunan Dingin, Sedang, Panas

Keluaran dari pompa berupa pengontrolan penyiraman air dengan cara mengatur kecepatan motor pada pompa air. Dalam penelitian ini nilai dari pompa terdapat 3 keanggotaan; pompa dalam keadaan Mati,

Pompa dalam keadaan menyala cepat memberikan keluaran pompa air dengan kecepatan pelan, dan pompa dalam keadaan menyala lama memberikan keluaran pompa air dengan kecepatan kencang. Nilai linguistik pompa air dan domainnya ditunjukkan oleh Tabel 4. Sementara fungsi keanggotaan status pompa direpresentasikan pada Gambar 5.

Tabel 4. Variabel Output Pompa Air

Nilai Linguistik	Domain
Mati	0
Cepat	0,5
Lama	1



Gambar 5. Diagram Output Mati, Cepat, Lama

Rule based adalah sejumlah aturan yang memetakan nilai masukan fuzzy ke nilai keluaran fuzzy. Di mana hubungan antara rule dengan luaran fuzzy ditunjukkan oleh Tabel 5.

Tabel 5. Rule Based

Rule	Kelembaban Tanah	Suhu	Waktu penyiraman
1	Kering	Dingin	Lama
2	Kering	Sedang	Lama
3	Kering	Panas	Lama
4	Lembab	Dingin	Mati
5	Lembab	Sedang	Cepat
6	Lembab	Panas	Cepat
7	Basah	Dingin	Mati
8	Basah	Sedang	Mati
9	Basah	Panas	Mati

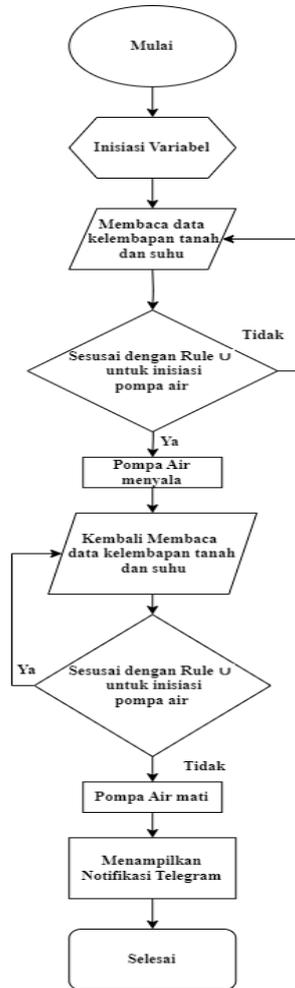
Tahap akhir dari pengendalian kontrol Fuzzy terdapat Defuzzifikasi. Metode Rata-Rata Berat menghitung nilai crisp dengan mengalikan setiap nilai fuzzy (atau nilai output dari sistem fuzzy) dengan derajat keanggotaan (tingkat keyakinan) yang bersesuaian, lalu mengambil rata-rata tertimbang dari hasil perkalian tersebut. Persamaan untuk melakukan defuzifikasi dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2)

$$\mu[x, b, a] = \begin{cases} 0 & , x < a \text{ atau } x > c \\ (x - a)/(b - a) & , a \leq x \leq b \\ (c - a)/(c - b) & , b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

Menggunakan Input

$$keluaran\ crisp\ y = \frac{\sum keluaran\ fuzzy_i \times posisi\ singleton\ sumbu\ x_i}{\sum keluaran\ fuzzy_i} \quad (2)$$

Untuk *Flowchart* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Flowchart* sistem

Gambar 6 menunjukkan konfigurasi seluruh rangkaian yang digunakan. Proses awal dilakukan dengan pengaktifan seluruh sistem dengan menghubungkan adaptor pada saklar listrik. Setelah aktif sensor akan membaca kadar kelembaban tanah dan kondisi suhu di sekitar, selanjutnya memberikan informasi kelembaban tanah dan suhu di sekitar pada mikrokontroler. Jika data input yang didapat sesuai rule based dari sistem kendali fuzzy maka pompa air menyala, namun jika data didapat tidak sesuai rule based dari sistem kendali fuzzy maka sistem akan membaca kembali data input dari sensor. Setelah pompa menyala sistem akan membaca kembali kondisi rule based dari sistem kendali, jika kondisi data sesuai maka pompa air akan mati dan menampilkan output berupa keterangan dari kelembaban tanah dan suhu tersebut pada telegram sebaliknya jika kondisi rule based dari sistem kendali tidak sesuai, sistem akan mengecek kembali data dari input sensor hingga kondisi terpenuhi.

IV. HASIL DAN ANALISIS

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui hasil akurasi dari pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding. Di mana untuk pengukuran tanah ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan data yang dianalisis, terlihat bahwa akurasi pengukuran sensor kelembaban tanah mengalami penurunan pada tingkat parameter yang rendah (10% dan 20%). Namun, akurasi tersebut meningkat secara signifikan ketika parameter berada pada kisaran 30% hingga 60%. Nilai deviasi standar yang umumnya rendah pada berbagai tingkat parameter menunjukkan konsistensi pengukuran yang berfungsi secara optimal oleh sensor kelembaban tanah. Hal ini diperkuat oleh nilai presisi yang menunjukkan konsistensi yang tinggi pula, meskipun terdapat variasi yang lebih tinggi pada tingkat parameter yang lebih rendah.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kelembaban Tanah

No	Parameter (soilmeter)					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Percobaan 1	8,54%	16,03%	35,29%	43,70%	52,39%	65,45%
Percobaan 2	11,24%	21,99%	38,81%	45,26%	49,95%	56,99%
Percobaan 3	8,24%	15,84%	30,01%	43,60%	48,58%	56,89%
Percobaan 4	12,51%	17,85%	25,12%	44,09%	46,53%	58,16%
Percobaan 5	13,98%	21,31%	25,90%	41,25%	50,93%	54,94%
Percobaan 6	17,11%	19,84%	26,39%	46,33%	53,96%	60,27%
Percobaan 7	13,64%	22,15%	26,30%	42,13%	51,26%	57,84%
Percobaan 8	15,89%	18,56%	32,65%	41,15%	54,84%	63,72%
Percobaan 9	13,14%	19,41%	33,14%	40,86%	49,46%	62,64%
Percobaan 10	16,13%	14,64%	33,04%	41,06%	48,09%	58,99%
Rata - Rata	13	18,8	30,7	42,9	50,6	59,6
Nilai Error%	30%	6%	2,30%	7,25%	1,20%	0,60%
Nilai Akurasi	70%	94%	97,70%	92,75%	98,80%	99,4
Deviasi Standar	2,86%	2,52%	4,41%	1,83%	2,40%	3,20%
Nilai Presisi	78%	86,70%	85,60%	95,70%	95,30%	94,60%

Dapat disimpulkan dari analisis ini bahwa sensor kelembaban tanah memiliki kinerja yang dapat diandalkan pada pengukuran parameter yang tinggi. Pada tingkat parameter yang rendah, akurasi dan stabilitas pengukuran sensor tidak setinggi pada parameter yang tinggi, sehingga menghasilkan variasi yang lebih besar. Hal ini bisa terjadi karena karakteristik sensor yang tidak sepenuhnya linier pada rentang pembacaan tertentu. Di sisi lain, pada pembacaan untuk kelembaban yang rendah, profil cairan di dalam tanah tidak sepenuhnya homogen, sehingga pengaruh peletakan sensor menjadi lebih signifikan. Sementara pada kelembaban tinggi, profil cairan pada tanah lebih merata.

Berdasarkan hasil pengujian akurasi sensor yang dilakukan dengan membandingkan sensor DHT11 dengan alat ukur thermometer analog didapatkan hasil nilai dengan rata-rata selisih 0,38°C, nilai yang didapat cukup mendekati nilai termometer. Untuk rata-rata errornya sebesar 1,64% menunjukkan kesalahan cukup kecil antara pengukuran sensor dengan alat ukur, dan menandakan bahwa akurasi dari sensor adalah tinggi. Akurasi sensor meningkat saat keadaan suhu tinggi dan nilai *error* cenderung tinggi saat keadaan suhu rendah. Hal ini terjadi karena karakteristik sensor yang lebih bersifat linier pada temperatur yang lebih tinggi. Tetapi dibandingkan pengukuran kelembaban, tingkat akurasi pada pengukuran temperatur ini lebih tinggi.

Hasil pengukuran suhu beserta *error* dan akurasinya ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengukuran Suhu

No	Suhu Termometer (°C)	Suhu Sensor (°C)	Selisih	Error (%)	Akurasi (%)
1	19	20,2	1,2	6,31	93,69
2	20	20,6	0,6	3	97
3	23	22,6	0,4	1,73	98,27
4	24	24,3	0,3	1,25	98,75
5	27	27,1	0,1	0,37	99,63
6	28	28	0	0	100
7	29	28,9	0,1	0,34	99,66
8	30	29,8	0,2	0,6	99,4
9	31	30,8	0,2	0,6	99,4
10	32	31,3	0,7	2,18	97,8
Rata - rata	26,3	26,41	0,38	1,64	98,36

Pengujian sistem kendali *Fuzzy* dilakukan dengan membandingkan hasil output defuzzifikasi sistem dengan defuzzifikasi pada perangkat lunak sebagai acuan dari sistem kendali *Fuzzy* dengan sumber berbeda. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5, dalam Tabel ini berisi nilai Input dari pembacaan sensor

kelembaban tanah dan Suhu, kemudian terdapat output defuzzifikasi dari sistem yang sudah dibuat dan nilai defuzzifikasi dari Matlab. Berdasarkan hasil pengujian dari Tabel 5 Rata-rata error dari percobaan yang telah dilakukan mempunyai nilai error 1,39%, Akurasi dari perbandingan sistem yang didapat 98,61%. Sebenarnya dengan program yang sama, akurasi lebih dipengaruhi oleh konsistensi program di Matlab dan di mikrokontroller dalam melakukan pembulatan angka. Perbandingan antara hasil akhir dengan simulasi ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan dengan hasil simulasi

Pengujian	Input Sensor		Output Defuzzifikasi		Error (%)	Akurasi (%)
	Kelembaban Tanah (%)	Suhu (°C)	Sistem	Matlab		
1	60	27	0	0	0	100
2	46,5	31,1	0,32	0,31	3,22	96,78
3	15,84	15	0,84	0,87	3,44	96,56
4	45,56	30,2	0,5	0,5	0	100
5	22,1	28,5	0,678	0,676	0,29	99,71
Rata-rata					1,39	98,61

Kesesuaian output dengan rancangan ditunjukkan pada Tabel 9. Di mana pada tabel tersebut ditampilkan hasil dari defuzzifikasi yang disesuaikan dengan output yang diharapkan seandainya penyiraman dilakukan secara manual. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk melihat efektivitas secara keseluruhan seandainya proses penyiraman dilakukan secara otomatis.

Tabel 9. Kesesuaian Ouput dengan Perancangan

No.	Suhu	Kelembaban	Deffuzzifikasi	Output		Hasil
				Yang diharapkan	Yang terjadi	
1	25 (sedang)	73 (basah)	0	Mati	Mati	Sesuai
2	26 (sedang)	48 (lembab)	0,23	Cepat	Cepat	Sesuai
3	15 (dingin)	15,84 (kering)	0,84	Lama	Lama	Sesuai
4	31,1 (sedang)	46,5 (lembab)	0,32	Cepat	Cepat	Sesuai
5	25 (sedang)	28,8 (lembab)	0,5	Cepat	Cepat	Sesuai
6	30,6 (sedang)	51,9 (lembab)	0,15	Cepat	Cepat	Sesuai
7	29 (sedang)	58,8 (basah)	0	Mati	Mati	Sesuai
8	30,3 (sedang)	67,8 (basah)	0	Mati	Mati	Sesuai
9	28,5 (sedang)	22,1 (kering)	0,678	Lama	Lama	Sesuai
10	19,1 (dingin)	12,5 (kering)	1	Lama	Lama	Sesuai

Dari Tabel 9 di atas terlihat bahwa output yang diharapkan sesuai dengan yang terjadi, dengan tingkat kesesuaian 100%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem otomasi ini sudah bisa menggantikan peran manusia untuk melakukan penyiraman berkala sesuai dengan suhu kadar kelembaban tanah. Dari data juga terlihat bahwa sistem fuzzy ini bisa menyesuaikan kebutuhan penyiraman untuk lebih memberikan bobot lebih terhadap kelembaban tanah dibandingkan suhu. Variasi kecepatan pompa juga bisa ditingkatkan lagi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah dianalisis, akurasi pengukuran sensor kelembaban tanah mengalami penurunan pada tingkat parameter yang rendah (10% dan 20%). Namun, secara signifikan pada Saat berada diparameter kisaran 30% hingga 60% akurasi tersebut meningkat. Hal ini menunjukkan sensor kelembaban tanah memiliki kinerja yang lebih optimal pada pengukuran parameter yang tinggi. Hal ini disebabkan karena profil air pada tanah dengan kelembaban tinggi lebih merata. Pada tingkat parameter yang rendah,

akurasi dan stabilitas pengukuran sensor dapat menurun, sehingga menghasilkan variasi yang lebih besar dalam hasil pengukuran. Hal ini disebabkan karena linieritas sensor lebih rendah pada temperatur yang lebih rendah. Hasil pemodelan sistem kendali dapat berjalan dengan optimal. Dari semua percobaan yang sudah dilakukan menunjukkan jika fungsi dari sistem kendali Fuzzy ini bisa mengoptimalkan kinerja otomasi karena hasil output pompa air dalam sepuluh kali percobaan selalu tepat sesuai rule based yang sudah dibuat. Penggunaan sistem kendali Fuzzy dapat diimplementasikan untuk membuat kendali keluaran dari pompa air. Rata-rata error didapat oleh sistem kendali yang sudah dibuat dengan nilai error 1,39%. Nilai akurasi yang didapat 98.61%. Akurasi dari perbandingan sistem termasuk adalah tinggi, sehingga bisa dilakukan pemodelan sistem terlebih dahulu untuk melakukan pengaturan yang lebih optimal. Tingkat kesesuaian antara perancangan dan hasil akhir yang diinginkan adalah 100%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem otomasi ini bisa menggantikan peran manusia dalam melakukan penyiraman terhadap tanaman.

REFERENCES

- [1] A. Mujahid And M. Jannah, "Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Ph Tanah Dan Sensor Kelembaban," Vol. 9, No. 2, Pp. 5–9, 2023.
- [2] M. K. Imam, E. Permata, And D. Desmira, "Sistem Kontrol Penyiram Otomatis Tanaman Tomat Menggunakan Wemos D1 R1," *Elkomika J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, Vol. 10, No. 4, P. 815, 2022, Doi: 10.26760/Elkomika.V10i4.815.
- [3] R. L. Alam and A. Nasuha, "Sistem Pengendali pH Air dan Pemantauan Lingkungan Tanaman Hidroponik menggunakan Fuzzy Logic berbasis IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–20, 2020, doi: 10.21831/elinvo.v5i1.34587.
- [4] Syafrudin, "Perancangan Sistem Penyiraman Otomatis Tanaman Bawang Merah Dengan Metode Fuzzy Sugeno Berbasis *Arduino* Uno," No. 2, Pp. 1–13, 2019.
- [5] E. W. Saputra, "Optimasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy Mamdani Menggunakan Algoritma Genetika Untuk Penentuan Penerima Beasiswa," *Jstie (Jurnal Sarj. Tek. Inform.*, Vol. 8, No. 2, P. 76, 2020, Doi: 10.12928/Jstie.V8i2.14846.
- [6] K. Del Vieri And F. Sains Dan Teknologi, *Implementasi Fuzzy Inference System Pada Sistem Penyiram Tanaman Otomatis Mesin Paralel Skripsi Oleh : Program Studi Teknik Informatika*. 2021.
- [7] Munir, M. M., Akbar, S. R., & Bhawiyuga, A, ""Implementasi wireless sensor node untuk pemantauan lahan pertanian berbasis protokol 802.15. 4." *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer e-ISSN 2548 (2018): 964X*.
- [8] K. Widianggara, "Sistem Alat Monitoring Pada Tanaman Hias Tillandsia Menggunakan Algoritma Fuzzy Pada Program Studi Teknik Informatika Politeknik Negeri Malang," *Jurnal dan Penelitian teknik Informatika vol 6 no 2*. 2022.
- [9] E. D. Ariyani, A. Salam, E. Y. Simarmata, G. A. Pamungkas, And M. H. Affan, "Rancang Bangun Dan Pembuatan Alat Penyiraman Tanaman Otomatis Untuk Pemberdayaan Petani Sayuran Di Desa Cihanjuang , Kabupaten Bandung Barat Design And Construction Of Automatic Plant Watering Equipment For Empowerment Of Vegetable Farmers In Cihanjuang V," Vol. 6, No. 2, Pp. 254–260, 2021.
- [10] N. K. Ningrum, I. Utomo, W. Mulyono, D. Kurniawan, And Z. Umami, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanaman Berbasis Iot Berdasarkan Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Tanah Dengan Algoritma Fuzzy Logic," *Univ. Dian Nuswantoro*, Pp. 554–559, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.uib.ac.id/index.php/senatib/article/download/1962/1546/3173>
- [11] Daifiria , E.N. Domloboy , D.Heryawan, "Sistem Monitoring Kelembaban Tanah dan Suhu Pada Tanaman Hias Berbasis IOT Menggunakan Raspberry Pi," *IT J.*, vol. 7, no. 2, hal. 82-90.
- [12] S. Robiah, J. Indra, And A. Masruriyah, "Penyiraman Air Dan Nutrisi Untuk Tanaman Dalam Pot Secara Otomatis Menggunakan *Arduino* Uno Dengan Algoritma Fuzzy Logic," ... *Student J. ...*, Vol. Iii, Pp. 227–234, 2022, [Online]. Available: [Http://journal.ubpkarawang.ac.id/mahasiswa/index.php/ssj/article/view/444%0a](http://journal.ubpkarawang.ac.id/mahasiswa/index.php/ssj/article/view/444%0a)
- [13] E. Darnila Et Al., "Prototype Penyiraman Otomatis Pada Tanaman Bawang Putih Dengan Metode Fuzzy Sugeno Berbasis *Arduino* Uno," Vol. 18, No. 1, Pp. 105–114.
- [14] A. Andreas, G. Priyandoko, M. Mukhsim, And S. A. Putra, "Kendali Kecepatan Motor Pompa Air Dc Menggunakan Pid – Csa Berdasarkan Debit Air Berbasis *Arduino*," *Jasee J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, Vol. 1, No. 01, Pp. 1–14, 2020, Doi: 10.31328/Jasee.V1i01.3.
- [15] S. E. Viarnida, " Prototype Sistem Kontrol Aliran Air Terintegrasi Buck Converter Kendali Pid Berbasis *Arduino* Uno " 2023 Program Studi Diploma Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- [16] N. H. Rohiem And N. P. U. Putra, "Sistem Monitoring Kecepatan Motor Dan Tekanan Pada Saluran Air Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Integer J. Inf. Technol.*, Vol. 6, No. 1, Pp. 74–80, 2021, Doi: 10.31284/J.Integer.2021.V6i1.1835.
- [17] A. Andreas, G. Priyandoko, M. Mukhsim, And S. A. Putra, "Kendali Kecepatan Motor Pompa Air Dc Menggunakan Pid – Csa Berdasarkan Debit Air Berbasis *Arduino*," *Jasee J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, Vol. 1, No. 01, Pp. 1–14, 2020, Doi: 10.31328/Jasee.V1i01.3.
- [18] A. Rohman, M. Agung, P. Negara, And B. Supeno, "Sistem Pengaturan Laju Aliran Air Pada Plant Water

- Treatment Skala Rumah Tangga Dengan Kontrol *Fuzzy*-Pid (Water Flow Rate Control System At The Water Treatment Plat Household Scale With *Fuzzy*-Pid Control),” Berk. Sainstek, Vol. 1, Pp. 29–34, 2017.
- [19] S. B. Mursalin, H. Sunardi, And Z. Zulkifli, “Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Logika *Fuzzy*,” J. Ilm. Inform. Glob., Vol. 11, No. 1, Pp. 47–54, 2020, Doi: 10.36982/Jiig.V11i1.1072.
- [20] D. E. Nadindra And J. C. Chandra, “Sistem Iot Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis *Arduino* Dengan Kontrol Telegram,” Skanika, Vol. 5, No. 1, Pp. 104–114, 2022, Doi: 10.36080/Skanika.V5i1.2887.
- [21] S. Prasojo And B. Suprianto, “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu Pada Inkubator Bayi Berbasis *Fuzzy* Logic Controller,” J. Tek. Elektro Vol., Vol. 08, No. 01, Pp. 163–171, 2019.
- [22] Y. Manurung, D. Setiawan, And Z. Panjaitan, “Implementasi Teknik Pwm Pada Sistem Pencegah Kecelakaan Kerja Berbasis Mikrokontroler *Arduino*,” J. Sist. Komput. Triguna Dharma (Jursik Tgd), Vol. 2, No. 2, P. 115, 2023, Doi: 10.53513/Jursik.V2i2.7198.